

---

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

POSGRADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

# **“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE AMARRE DE UNA UNIDAD FLOTANTE DE PRODUCCIÓN TIPO SEMISUMERGIBLE”**

TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL**

P R E S E N T A

ALUMNO: **PEDRO VLADIMIR HERNÁNDEZ VARONA**

ASESORES: **DR. IVAN FÉLIX GONZÁLEZ**

**DR. GELACIO JUAREZ LUNA**

CIUDAD DE MÉXICO

OCTUBRE DE 2018

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primera instancia al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México) por el soporte económico brindado durante los dos años del programa de maestría.

De igual manera agradezco a mis tutores y directores de tesis, los doctores Iván Félix González y Gelacio Juárez Luna, por su excelente orientación, enseñanza y discusión crítica que me han proporcionado para el desarrollo de este trabajo de investigación, así como su apoyo para realizar una estancia académica en el '*Offshore Technology Research Center*' de la Universidad de Texas A&M.

Agradezco también a los doctores que conforman el Programa de Ingeniería Estructural por la enseñanza que me han transmitido a lo largo de la maestría, a la Universidad Autónoma Metropolitana por los servicios y apoyos que ofrecen y me han facilitado, y a mis amigos y compañeros por todos los momentos que hemos compartido.

Finalmente, quiero agradecer a toda mi familia por la motivación, comprensión y haber creído en mí, especialmente, a mis padres Pedro y Emilia que siempre han estado física y emocionalmente, a mis hermanos Scarlett y Jesús Ignacio por su cariño y apoyo incondicional, y a mis primos Celia Edith y Alejandro que me han apoyado y siempre tienen un momento para escucharme.

## CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
SIMBOLOGÍA.....	10
1 INTRODUCCIÓN .....	11
1.1 Producción de hidrocarburos .....	11
1.2 Producción en aguas profundas. ....	11
1.3 Sistemas flotantes.....	13
1.4 Sistemas de amarre .....	15
1.4.1 Materiales en líneas de amarre. ....	18
1.5 Antecedentes .....	20
1.6 Motivación y alcance.....	23
1.7 Objetivos .....	24
2 ANÁLISIS DE SISTEMAS DE AMARRE.....	25
2.1 Marco teórico .....	25
2.1.1 Sistemas de amarre .....	26
2.1.2 Respuesta de análisis desacoplados.....	26
2.1.3 Respuesta de análisis acoplados .....	27
2.1.4 Ecuaciones de movimiento acoplado .....	27
2.2 Normatividad .....	29
2.3 Parámetros ambientales .....	32
2.4 Grados de libertad.....	33
2.5 Parámetros de la plataforma tipo semisumergible .....	33
2.6 Parámetros de diseño para el sistema de amarre .....	34
3 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	43
3.1 Condición intacta.....	44
3.1.1 Análisis estático .....	44
3.1.2 Análisis dinámico .....	46

3.1.3	Factores de seguridad .....	50
3.1.4	Relaciones de fuerzas de tensión y desplazamientos .....	52
3.2	Condiciones dañadas.....	52
3.2.1	Análisis estático .....	53
3.2.2	Análisis dinámico .....	56
3.2.3	Factores de seguridad .....	60
3.2.4	Relaciones de fuerzas de tensión y desplazamientos .....	60
3.3	Casos de estudio .....	61
3.3.1	Caso de estudio 1: 1,000 m de tirante de agua. ....	61
3.3.2	Caso de estudio 2: 1,500 m de tirante de agua. ....	64
3.3.3	Caso de estudio 3: 2,000 m de tirante de agua. ....	66
3.3.4	Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos.....	68
4	SISTEMA DE AMARRE ÓPTIMO .....	70
4.1	Caso de estudio 1: 1,000 m de tirante de agua .....	72
4.2	Caso de estudio 2: 1,500 m de tirante de agua .....	77
4.3	Caso de estudio 3: 2,000 m de tirante de agua .....	82
4.4	Configuración óptima .....	87
5	ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO DE ESLABONES DE CADENAS.....	89
5.1	Introducción.....	89
5.2	Objetivo particular y alcances .....	91
5.3	Estrategia de mallado .....	93
5.4	Modelos numéricos .....	94
5.5	Resultados del análisis local a través de elemento finito. ....	96
5.5.1	Modelo SL_R3_81 .....	97
5.5.2	Modelo SK_R3_81 .....	104
5.6	Factor de concentración de esfuerzos .....	109
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	111
6.1	Sistemas de amarre .....	111



6.2	Factores de concentración de esfuerzos .....	113
6.3	Trabajos futuros .....	113
REFERENCIAS .....		115
ANEXO A .....		i
ANEXO B .....		cxiv

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1. Licitación de la Ronda 1 en aguas profundas en el Golfo de México.</i>	12
<i>Figura 1.2. Licitación de la Ronda 2 en aguas profundas en el Golfo de México.</i>	12
<i>Figura 1.3. Ubicación de sistemas flotantes e instalaciones para aguas profundas a nivel mundial.</i>	13
<i>Figura 1.4. Estructuras costa fuera para aguas profundas.</i>	15
<i>Figura 1.5. Sistema de amarre con torreta interna.</i>	16
<i>Figura 1.6. Sistema de amarre con torreta externa.</i>	16
<i>Figura 1.7. Sistema de amarre de pierna anclada.</i>	17
<i>Figura 1.8. Configuración de los sistemas de amarre. (a) Catenaria, (b) Sistema tensado.</i>	18
<i>Figura 1.9. Cadenas tipo sin refuerzo (studless).</i>	19
<i>Figura 1.10. Cables de acero.</i>	19
<i>Figura 1.11. Fibra sintética.</i>	19
<i>Figura 1.12. Curva tenacidad-elongación de fibras de alto módulo [17].</i>	21
<i>Figura 1.13. Sistemas de amarre híbridos [19].</i>	23
<i>Figura 2.1. Análisis desacoplado [9].</i>	25
<i>Figura 2.2. Análisis acoplado [9].</i>	26
<i>Figura 2.3. Áreas y regiones de aplicación en el Golfo de México [11].</i>	32
<i>Figura 2.4. Grados de libertad de una embarcación.</i>	33
<i>Figura 2.5. Configuración general del sistema de amarre a utilizarse en esta investigación.</i>	34
<i>Figura 2.6. Identificación de la variable de diseño del tirante de agua.</i>	35
<i>Figura 2.7. Identificación de número de líneas por columna.</i>	35
<i>Figura 2.8. Numeración de las líneas de amarre considerando 3 líneas por columna.</i>	35
<i>Figura 2.9. Identificación del ángulo de salida de las líneas de amarre.</i>	36
<i>Figura 2.10. Identificación de la longitud de las líneas de amarre para control de la fuerza de pretensión.</i>	37
<i>Figura 2.11. Representación gráfica de la combinación A.</i>	38
<i>Figura 2.12. Representación de las condiciones de análisis.</i>	39
<i>Figura 2.13. Configuración geométrica del eslabón reforzado (studlink).</i>	40
<i>Figura 2.14. Diagrama de flujo del proceso de análisis y optimización de los sistemas de amarre.</i>	42
<i>Figura 3.1. Fuerza de tensión estática combinación C.</i>	45
<i>Figura 3.2. Historia de desplazamiento, combinaciones A, B, C y D.</i>	46
<i>Figura 3.3. Densidad espectral de potencia de desplazamientos.</i>	47
<i>Figura 3.4. Fuerzas de tensión para la combinación J.</i>	48
<i>Figura 3.5. Densidad espectral de potencia de fuerzas de tensión para la línea 1.</i>	49

Figura 3.6. Densidad espectral de potencia de fuerzas de tensión para la línea 2.....	49
Figura 3.7. Factores de seguridad para fuerzas de tensión en las líneas de amarre por combinación.....	51
Figura 3.8. Fuerza de tensión estática, combinación C, caso P10NL3AS45CD1P0FSP .....	55
Figura 3.9 Fuerza de tensión estática, combinación C, caso P10NL3AS45CD2P0FSP .....	55
Figura 3.10. Historia de desplazamiento lateral, combinaciones A, B, C y D, P10NL3AS45CD1P0FSP.....	56
Figura 3.11. Historia de desplazamiento lateral, combinaciones A, B, C y D, P10NL3AS45CD2P0FSP.....	56
Figura 3.12. Densidad espectral de potencia de desplazamientos laterales, P10NL3AS45CD1P0FSP.....	57
Figura 3.13. Densidad espectral de potencia de desplazamientos laterales, P10NL3AS45CD2P0FSP.....	57
Figura 3.14. Fuerzas de tensión para la combinación J, P10NL3AS45CD1P0FSP. ....	58
Figura 3.15. Fuerzas de tensión para la combinación J, P10NL3AS45CD2P0FSP. ....	58
Figura 3.16. Densidad espectral de potencia de fuerzas de tensión para la línea 2, P10NL3AS45CD1P0FSP. .....	59
Figura 3.17. Densidad espectral de potencia de fuerzas de tensión para la línea 1, P10NL3AS45CD2P0FSP. .....	59
Figura 3.18. Factores de seguridad, caso de estudio 1: 1,000 m, condiciones intactas.....	62
Figura 3.19. Factores de seguridad, caso de estudio 1: 1,000 m, condiciones dañadas. ....	62
Figura 3.20. Desplazamientos horizontales, caso de estudio 1: 1,000 m, condiciones intactas.....	63
Figura 3.21. Desplazamientos horizontales, caso de estudio 1: 1,000 m, condiciones dañadas. ....	63
Figura 3.22. Factores de seguridad, caso de estudio 2: 1,500 m, condiciones intactas.....	64
Figura 3.23. Factores de seguridad, caso de estudio 2: 1,500 m, condiciones dañadas. ....	64
Figura 3.24. Desplazamientos horizontales, caso de estudio 2: 1,500 m, condiciones intactas.....	65
Figura 3.25. Desplazamientos horizontales, caso de estudio 2: 1,500 m, condiciones dañadas. ....	65
Figura 3.26. Factores de seguridad, caso de estudio 3: 2,000 m, condiciones intactas.....	66
Figura 3.27. Factores de seguridad, caso de estudio 3: 2,000 m, condiciones dañadas. ....	66
Figura 3.28. Desplazamientos horizontales, caso de estudio 3: 2,000 m, condiciones intactas.....	67
Figura 3.29. Desplazamientos horizontales, caso de estudio 3: 2,000 m, condiciones dañadas. ....	67
Figura 4.1. Costo de diferentes tipos de líneas de amarre para el 2012 [23]. ....	70
Figura 4.2. Discretización de las gráficas para comparación entre los pesos y costos. ....	71
Figura 4.3. Comparación peso-desplazamiento, caso de estudio 1: tirante 1,000 m, 3 líneas.....	73
Figura 4.4. Comparación peso-desplazamiento, caso de estudio 1: tirante 1,000 m, 4 líneas.....	74
Figura 4.5. Comparación costo-desplazamiento, caso de estudio 1: tirante 1,000 m, 3 líneas.....	75
Figura 4.6. Comparación costo-desplazamiento, caso de estudio 1: tirante 1,000 m, 4 líneas.....	76
Figura 4.7. Comparación peso-desplazamiento, caso de estudio 2: tirante 1,500 m, 3 líneas.....	78
Figura 4.8. Comparación peso-desplazamiento, caso de estudio 2: tirante 1,500 m, 4 líneas.....	79
Figura 4.9. Comparación costo-desplazamiento, caso de estudio 2: tirante 1,500 m.....	80

<i>Figura 4.10. Comparación costo-desplazamiento, caso de estudio 2: tirante 1,500 m, 4 líneas.</i>	81
<i>Figura 4.11. Comparación peso-desplazamiento, caso de estudio 3: tirante 2,000 m, 3 líneas.</i>	83
<i>Figura 4.12. Comparación peso-desplazamiento, caso de estudio 3: tirante 2,000 m, 4 líneas.</i>	84
<i>Figura 4.13. Comparación costo-desplazamiento, caso de estudio 3: tirante 2,000 m, 3 líneas.</i>	85
<i>Figura 4.14. Comparación costo-desplazamiento, caso de estudio 3: tirante 2,000 m, 4 líneas.</i>	86
<i>Figura 4.15. Diagrama de flujo de configuración óptima del sistema de amarre para una semisumergible con una producción de 100 mbpd.</i>	88
<i>Figura 5.1. Ubicación de los principales esfuerzos.</i>	91
<i>Figura 5.2. Modelo general de eslabones sin refuerzo en AutoCAD.</i>	92
<i>Figura 5.3. Tipos de eslabones y características geométricas.</i>	92
<i>Figura 5.4. Imagen del modelo FEM utilizado para determinar la intensidad de mallado.</i>	93
<i>Figura 5.5. Convergencia de la respuesta, Carga-refinamiento de la malla.</i>	94
<i>Figura 5.6. Modelo general de eslabones no reforzados.</i>	94
<i>Figura 5.7. Modelo general de eslabones reforzados.</i>	95
<i>Figura 5.8. Diagrama de flujo del análisis de los modelos de elemento finito.</i>	96
<i>Figura 5.9. Aislamiento del eslabón en estudio, SL_R3_81.</i>	97
<i>Figura 5.10. Deformaciones y primeros esfuerzos principales, SL_R3_81.</i>	100
<i>Figura 5.11. Curva carga-desplazamiento, SL_R3_81.</i>	101
<i>Figura 5.12. Curva carga-factor de concentración de esfuerzo, SL_R3_81.</i>	101
<i>Figura 5.13. Puntos A y B en eslabones no reforzados.</i>	103
<i>Figura 5.14. Curvas carga-factor de concentración de esfuerzo, SL_R3_81.</i>	103
<i>Figura 5.15. Deformaciones y primeros esfuerzos principales, SK_R3_81.</i>	106
<i>Figura 5.16. Curva carga-desplazamiento, SK_R3_81.</i>	107
<i>Figura 5.17. Curva carga-factor de concentración de esfuerzo, SK_R3_81.</i>	107
<i>Figura 5.18. Puntos C y D en eslabones reforzados.</i>	108
<i>Figura 5.19. Curvas carga-factor de concentración de esfuerzo, SK_R3_81.</i>	109
<i>Figura 5.20. Localización de los principales puntos de concentración de esfuerzos en eslabones.</i>	109

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1. Jerarquización de los documentos normativos.</i>	29
<i>Tabla 2.2. Normatividad extranjera.</i>	30
<i>Tabla 2.3. Factores de seguridad indicados por la normatividad API-RP-2SK [6].</i>	31
<i>Tabla 2.4. Parámetros ambientales para la zona oeste [11].</i>	32
<i>Tabla 2.5. Determinación de ángulos de salida de las líneas de amarre.</i>	36
<i>Tabla 2.6. Determinación de la longitud de las líneas de amarre para control de la fuerza de pretensión.</i>	37
<i>Tabla 2.7. Combinaciones ambientales.</i>	38
<i>Tabla 2.8. Propiedades de la cadena.</i>	39
<i>Tabla 2.9. Propiedades de la fibra sintética.</i>	40
<i>Tabla 2.10. Variables de análisis.</i>	41
<i>Tabla 2.11. Descripción del nombre de los análisis.</i>	41
<i>Tabla 3.1. Descripción de las variables del modelo a desarrollar.</i>	43
<i>Tabla 3.2. Coordenadas de los puntos de amarre en la plataforma y punto de anclaje en el lecho marino del sistema de amarre.</i>	44
<i>Tabla 3.3. Propiedades de la sección de las líneas de amarre.</i>	44
<i>Tabla 3.4. Desplazamientos y giros estáticos de la plataforma.</i>	45
<i>Tabla 3.5. Fuerzas de tensión y desplazamientos máximos por combinación.</i>	50
<i>Tabla 3.6. Factores de seguridad mínimos evaluados con base en el API, y revisión de desplazamientos horizontales.</i>	52
<i>Tabla 3.7. Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos, caso P10NL3AS45CIP0FSP.</i>	52
<i>Tabla 3.8. Desplazamientos y giros estáticos de la plataforma, P10NL3AS45CD1P0FSP.</i>	53
<i>Tabla 3.9. Desplazamientos y giros estáticos de la plataforma, P10NL3AS45CD2P0FSP.</i>	54
<i>Tabla 3.10. Factores de seguridad mínimos.</i>	60
<i>Tabla 3.11. Revisión de desplazamientos.</i>	60
<i>Tabla 3.12. Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos, P10NL3AS45CD1P0FSP y P10NL3AS45CD2P0FSP.</i>	61
<i>Tabla 3.13. Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos.</i>	61
<i>Tabla 3.14. Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos, combinación J.</i>	68

<i>Tabla 4.1. Configuración óptima del sistema de amarre.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 5.1. Propiedades mecánicas mínimas de las cadenas (Tabla E1 DNV-OS-302 [13]).....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 5.2. Variables consideradas para determinar los factores de concentración de esfuerzos. ....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 5.3. Descripción de la nomenclatura de los modelos para los análisis de los eslabones a través de elemento finito. ....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 5.4. Resultados del modelo SL_R3_81.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 5.5. Primera sección curva carga-primer esfuerzo principal, SL_R3_81.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 5.6. Valores de constantes para la curva carga-factores de concentración de esfuerzos, SL_R3_81.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 5.7. Valores de carga de prueba en KN y de ruptura de acuerdo al grado de acero. ....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 5.8. Resultados del modelo SK-R3_81. ....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 5.9. Primera sección curva carga-primer esfuerzo principal, SK_R3_81. ....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 5.10. Valores de constantes para ajuste de la curva carga-factores de concentración de esfuerzos, SL_R3_81.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 5.11. Factores de concentración de esfuerzos para eslabones no reforzados. ....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 5.12. Factores de concentración de esfuerzos para eslabones reforzados. ....</i>	<i>110</i>

## SIMBOLOGÍA

$C$	<i>Matriz de amortiguamiento del sistema que incluye contribuciones desde el amortiguamiento interno estructural hasta el amortiguamiento hidrodinámico.</i>
$K$	<i>Matriz de rigideces del sistema.</i>
$M$	<i>Matriz del sistema de masa que incluye masa estructural, masa interna de fluidos en tuberías y masas hidrodinámicas.</i>
$R^I$	<i>Vector de fuerza inercial</i>
$R^D$	<i>Vector de amortiguamiento</i>
$R^S$	<i>Vector de fuerzas internas</i>
$R^E$	<i>Vector de fuerzas externas</i>
$r$	<i>Vector de desplazamientos</i>
$\dot{r}$	<i>Vector de velocidades</i>
$\ddot{r}$	<i>Vector de aceleraciones</i>
$\Delta r$	<i>Incremento nodal de desplazamiento</i>
$\Delta \dot{r}$	<i>Incremento nodal de velocidad</i>
$\Delta \ddot{r}$	<i>Incremento nodal de aceleración</i>
$D$	<i>Diámetro</i>
$P$	<i>Profundidad</i>
$MBL$	<i>Carga mínima de ruptura</i>
$FCE$	<i>Factor de concentración de esfuerzos</i>
$T$	<i>Fuerza de tensión aplicada</i>
$A_{eslabon}$	<i>Área de las dos barras que conforman el eslabón.</i>
$\sigma_{1st}$	<i>Primer esfuerzo principal obtenido del análisis numérico.</i>
$\sigma_{nominal}$	<i>Esfuerzo nominal</i>

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Producción de hidrocarburos

La alta demanda de hidrocarburos a nivel mundial ha fomentado la búsqueda de nuevos yacimientos petroleros, lo que ha provocado que cada vez se exploren y exploten campos terrestres con técnicas no convencionales, como la fracturación hidráulica, o campos localizados en aguas profundas. Actualmente en México, los principales campos petroleros se encuentran en aguas someras (tirantes de agua menores a 500 m). Sin embargo, estos campos tienen un tiempo limitado de producción, tal es el caso del yacimiento Cantarell que de acuerdo con el Anuario Estadístico de PEMEX 2014 [1] su producción ha disminuido constantemente desde el año 2004, pasando de 2,136.4 mbd (miles de barriles por día) a 374.9 mbd en el 2014.

Por otra parte, PEMEX ha reportado que la producción total de hidrocarburos líquidos ha disminuido de 2,548 mbd en el 2012 a 2,020 mbd en enero del 2017 [2], esta disminución de producción de hidrocarburos se debe a que no se ha invertido en explotar nuevos campos, ni en tecnología para su explotación. De acuerdo con la Secretaría de Energía (SENER), y con el objetivo de incrementar los niveles de producción de hidrocarburos, a través de la Reforma Energética se busca fortalecer las capacidades técnicas, financieras y de ejecución para la producción de petróleo y gas; es decir, permitir que la inversión externa a PEMEX sea posible, y de esta manera, producir hidrocarburos en yacimientos no convencionales y en aguas profundas del Golfo de México.

## 1.2 Producción en aguas profundas.

La Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) con base en la Reforma Energética, ha licitado nuevos campos para la exploración y explotación de hidrocarburos. Específicamente para aguas profundas, la CNH licitó en junio del 2016 en la Ronda 1 [3], 10 áreas contractuales en el Cinturón Plegado Perdido y en la Cuenca Salina (Figura 1.1). Además, en enero del 2018 se licitó en la Ronda 2 [4], 29 áreas en el Cinturón Plegado Perdido, Cordilleras Mexicanas y Cuenca Salina. (Figura 1.2).

De acuerdo con el sitio web de la CNH [3, 4] se han adjudicado 27 contratos. Sin embargo, el Plan Quinquenal [5] muestra que en total se planean licitar cuatro campos para explotación y 29 áreas para exploración en aguas profundas. Aunque es un mínimo porcentaje comparado con la totalidad de los campos a licitar (768 campos), dicho porcentaje abrirá la puerta a la explotación de más campos a largo plazo.



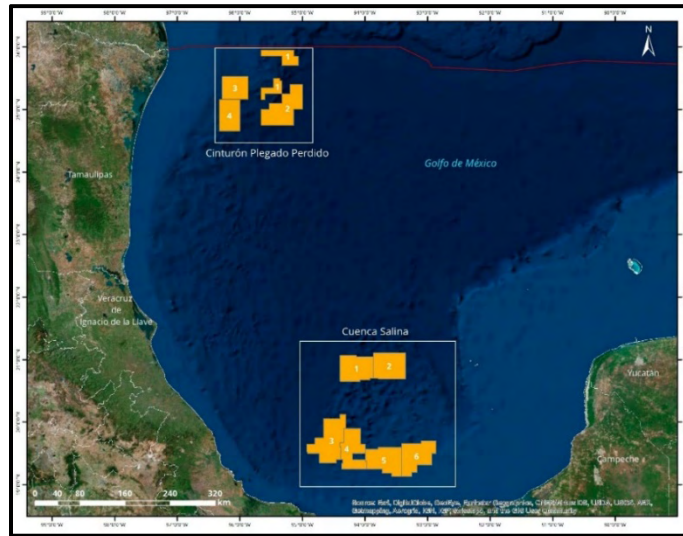


Figura 1.1. Licitación de la Ronda 1 en aguas profundas en el Golfo de México.

Fuente: <<http://rondasmexico.gob.mx/104-ap-bloques/>> Accesado en mayo de 2018.

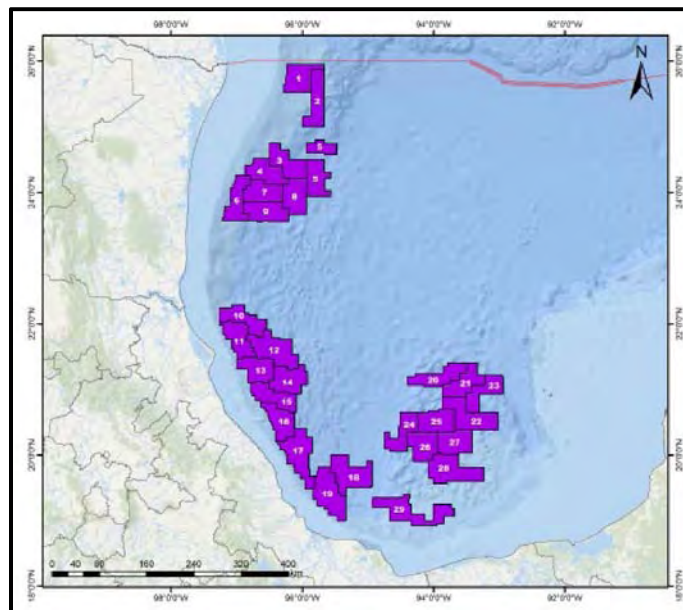


Figura 1.2. Licitación de la Ronda 2 en aguas profundas en el Golfo de México.

Fuente: <<https://rondasmexico.gob.mx/r2-104-bloques/>> Accesado en mayo de 2018.

Por otra parte, la explotación de yacimientos en aguas profundas a nivel mundial es reciente en comparación con la explotación en zonas terrestres o aguas someras. Hoy en día, se pueden encontrar zonas específicas de explotación en aguas profundas, por ejemplo: en el Mar del Norte, en las costas de Brasil y África Occidental, así como en el Golfo de México, principalmente del lado de los Estados Unidos de América. En la Figura 1.3 se observa la

cantidad de estructuras flotantes e instalaciones petroleras a nivel mundial para la producción de hidrocarburos en aguas profundas.

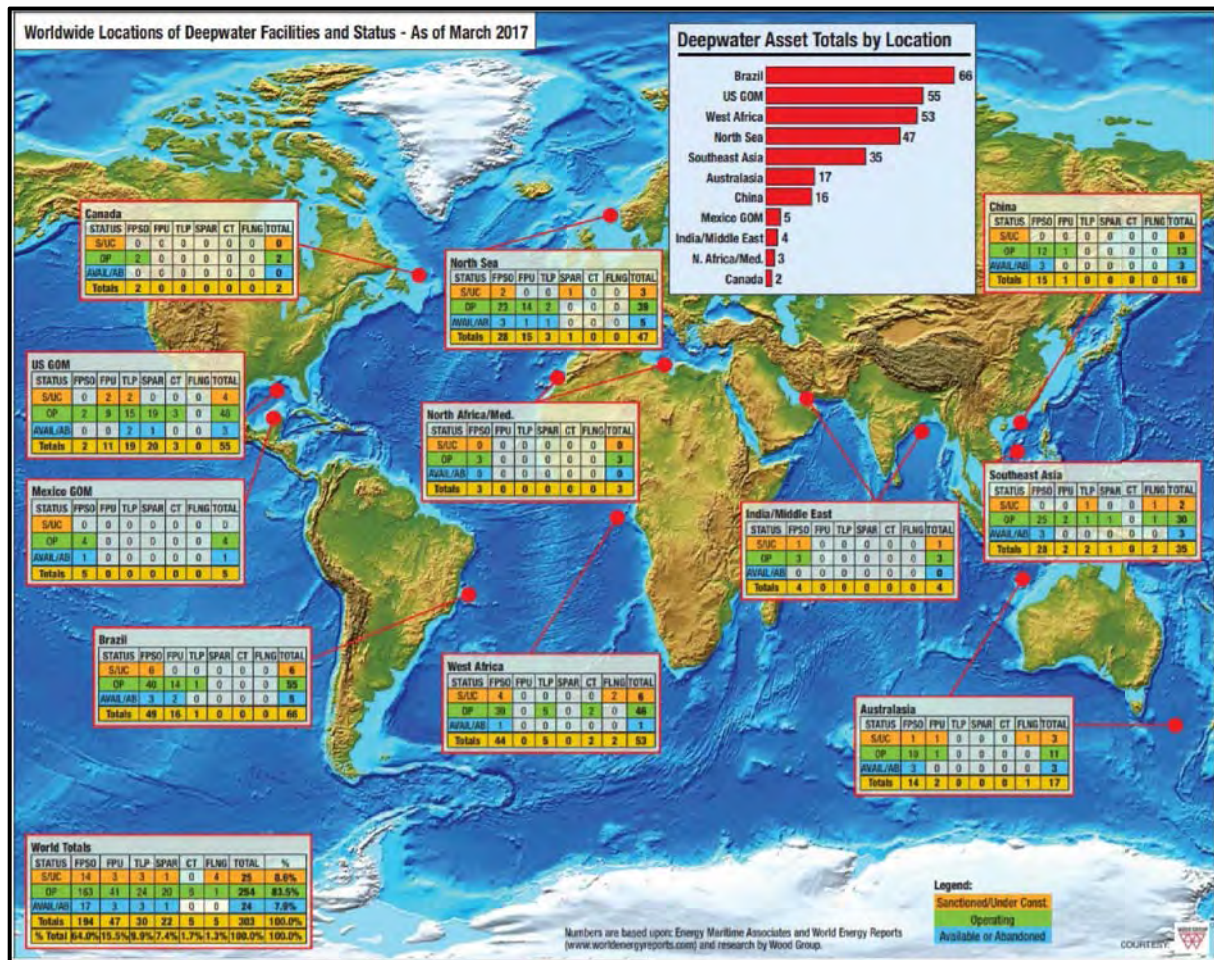


Figura 1.3. Ubicación de sistemas flotantes e instalaciones para aguas profundas a nivel mundial.

Fuente: <<https://www.offshore-mag.com/content/dam/offshore/print-articles/volume-77/05/2017-DeepwaterPoster-D6-Ads.pdf>>

Accesado en mayo de 2018.

### 1.3 Sistemas flotantes

Para la exploración y producción de yacimientos en aguas profundas se requiere de tecnología diferente a la usada en aguas someras. En primera instancia, las instalaciones requeridas para aguas profundas tienen que ser flotantes para reducir su peso, y facilitar su transportación. Además, éstas deben contar con todos los procesos, desde la explotación, acondicionamiento y exportación, y en algunos casos hasta el almacenamiento de los hidrocarburos. De acuerdo con el API-RP-2SK [6], las instalaciones flotantes más usadas en aguas someras y profundas son: sistemas flotantes de producción, almacenamientos y descarga (FPSO, *Floating Production Storage and Offloading*), plataformas de piernas

tensionadas (TLP, *Tension Leg Platforms*), semisumergibles y *spars*. Estos sistemas también se clasifican de acuerdo a su tipo de sistema de posicionamiento, el cual puede ser por un sistema de amarre, un sistema de posicionamiento dinámico o una combinación de estos. El comportamiento hidrodinámico de estos sistemas en algunos casos permite alojar el arreglo de válvulas conocido como árbol de navidad en cubierta (árboles secos) como en las TLPs y *spars*, o en el caso en el que se localizan en el lecho marino (árbol húmedo) como en las semisumergibles y FPSOs.

El sistema de posicionamiento dependerá principalmente de las necesidades del proyecto y de la embarcación a utilizar. El sistema de posicionamiento dinámico se usa principalmente para la exploración, o donde el proyecto no requiera que la embarcación permanezca en la localización por largos periodos. Mientras que los sistemas de amarre se utilizan principalmente en embarcaciones que permanecerán por varios años en un área específica. Los sistemas de amarre pueden ser de un punto de amarre como el utilizado en los FPSOs y *spars*, o con varios puntos de amarre como el utilizado en TLPs, semisumergibles y a veces en FPSOs.

Un FPSO es una embarcación tipo buque, la cual se usa principalmente para explotar el yacimiento para una producción temprana. Estas embarcaciones se utilizan en yacimientos donde no se cuentan con instalaciones o infraestructura para la transportación del petróleo. Por tal motivo, deben de contar con todos los procesos para la extracción, acondicionamiento y almacenamiento del petróleo.

Una TLP es un sistema flotante soportado por columnas y pontones y permanece en la localización, las cuales son perfiles tubulares conocidos como tendones. Además, se puede utilizar un sistema de amarre de varios puntos para disminuir su desplazamiento horizontal. Las TLPs son más pequeñas en comparación con los FPSOs, por tal motivo, la capacidad de carga en cubierta es mucha menor que la de los FPSOs, y pueden alojar en su cubierta equipo de perforación, así como árboles secos. Además, las TLPs requieren de una infraestructura instalada para exportar la producción de petróleo y gas.

Una plataforma semisumergible es una estructura soportada por columnas y pontones, similar a la TLP, la cual se mantiene en la localización mediante un sistema de amarre de varios puntos. Al igual que la TLP, cuenta con procesos para la explotación, acondicionamiento y exportación de petróleo y gas. A diferencia de la TLP, esta se puede emplear a mayores tirantes de agua y cuenta con mayor capacidad de carga en cubierta.

El *spar* es una plataforma sostenida por un casco tubular de gran diámetro, el cual le brinda la flotación requerida. Para mantenerla anclada en una localización determinada se usa un sistema de amarre. Al igual que la TLP, el *spar* permite alojar equipo de perforación y árboles secos, además de contar con los procesos de explotación, acondicionamiento y exportación de petróleo y gas. En la Figura 1.4 se identifican las principales estructuras costa fuera, descritas previamente, para aguas profundas.

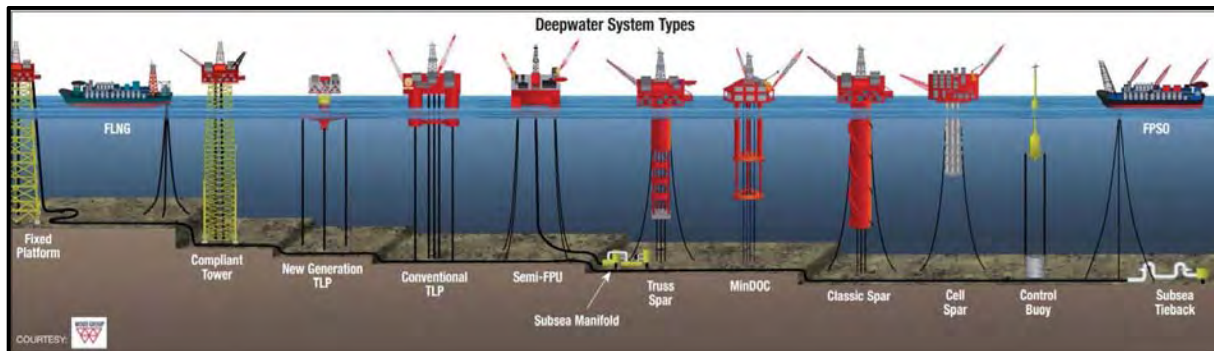


Figura 1.4. Estructuras costa fuera para aguas profundas.

Fuente: <<https://www.offshore-mag.com/content/dam/offshore/print-articles/volume-77/05/2017-DeepwaterPoster-D6-Ads.pdf> >

Accesado en mayo de 2018.

#### 1.4 Sistemas de amarre

El sistema de amarre es un conjunto de líneas de amarre ancladas al suelo marino, necesarias para el posicionamiento de la embarcación en la localización deseada. Esta posición dependerá del arreglo de las tuberías de transportación de hidrocarburos (*risers*) en el lecho marino, del sistema flotante de producción y el tirante. Los sistemas de amarre pueden ser de: un punto o varios puntos de amarre en la embarcación, y comprenden líneas de amarre, estructuras de anclaje y accesorios. Esta configuración dependerá principalmente del tipo de sistema flotante empleado, así como del tiempo que dure en la localización y tirante.

Las anclas se utilizan para resistir y transmitir al suelo todas las fuerzas actuantes sobre la embarcación y el sistema de amarre. El tipo de estructura de anclaje dependerá en gran medida del tipo de configuración de las líneas de amarre. Por ejemplo, para aguas profundas se usan principalmente pilotes de succión o tipo torpedo.

Los sistemas con varios puntos de amarre son aquellos que se conectan a la plataforma a lo largo de su perímetro. Aunque este sistema es común en plataformas tipo semisumergibles y TLPs, también pueden encontrarse en FPSOs. Este tipo de sistema usado en FPSOs es conocido como sistema de anclaje diferenciado (DICAS). Es un sistema que se empezó a



usar en las costas de Brasil, y su principal aplicación es en zonas donde hay una dirección ambiental de incidencia dominante.

Por otra parte, están los sistemas con un punto de amarre. La principal característica es que permite rotar a la embarcación, y así alinearse en la dirección de las condiciones ambientales prevalecientes. Estos son principalmente usados en FPSO y pueden ser de torretas o de amarre de pierna con anclaje en catenaria o con anclaje único. La torreta de amarre es parte del FPSO a la cual se fijan todas las líneas de manera interna o externa, como se muestra en la Figura 1.5 y en la Figura 1.6, respectivamente. Los sistemas de amarre de pierna anclada, son sistemas fijos a los cuales se conecta la embarcación por medio de cables o yugo, Figura 1.7.



Figura 1.5. Sistema de amarre con torreta interna.

Fuente: <<http://clubofmozambique.com/news/sofec-wins-turret-mooring-system-supply-contract-for-enis-flng-project-in-mozambique/>> Accesado en mayo de 2018.



Figura 1.6. Sistema de amarre con torreta externa.

Fuente: <<http://fukymarintech.weebly.com/characteristics.html>> Accesado en mayo de 2018.



Figura 1.7. Sistema de amarre de pierna anclada.

Fuente: <<https://www.marineinsight.com/offshore/how-single-point-mooring-spm-offshore-operation-works/>> Accedido en mayo de 2018.

Las líneas de amarre son aquellas que van desde el punto de conexión en la plataforma hasta un punto de anclaje localizado en el lecho marino. Estas líneas de amarre deben tener la capacidad de mantener posicionada a la embarcación en una zona de seguridad, es decir, que las estructuras conectadas al sistema flotante no sufran daño. Los principales materiales que forman una línea de amarre son: cadenas, cables de acero, fibras sintéticas y la combinación de ellas. Las líneas de amarre pueden presentar una configuración en catenaria, tensada o semitensada. Cabe destacar, que de acuerdo con la configuración dependerá el tipo de anclaje. Es decir, para una configuración en catenaria, que no presenta una fuerza vertical en el punto de anclaje, se pueden usar anclas, mientras que para una configuración tensada se usan pilotes, debido a que se presenta una fuerza vertical en el punto de anclaje.

Una configuración en catenaria es formada por el peso propio de la cadena y/o cable de acero. La principal ventaja de esta configuración es que debido al peso propio se proporciona la fuerza de restitución horizontal de la embarcación. Su uso depende si es en aguas someras, semiprofundas, y si no hay interferencias en el suelo marino. La configuración tensada consiste en combinaciones de segmentos de cadenas y cables de fibras de acero o sintéticas. Es necesario señalar que, mientras que en una configuración en catenaria los puntos de anclaje solo están sometidas a fuerzas horizontales, mientras que en los sistemas de amarre tensados, los puntos de anclaje deben ser capaces de resistir tanto fuerzas horizontales como verticales. La Figura 1.8 muestra un ejemplo de ambas configuraciones de sistemas de amarre.

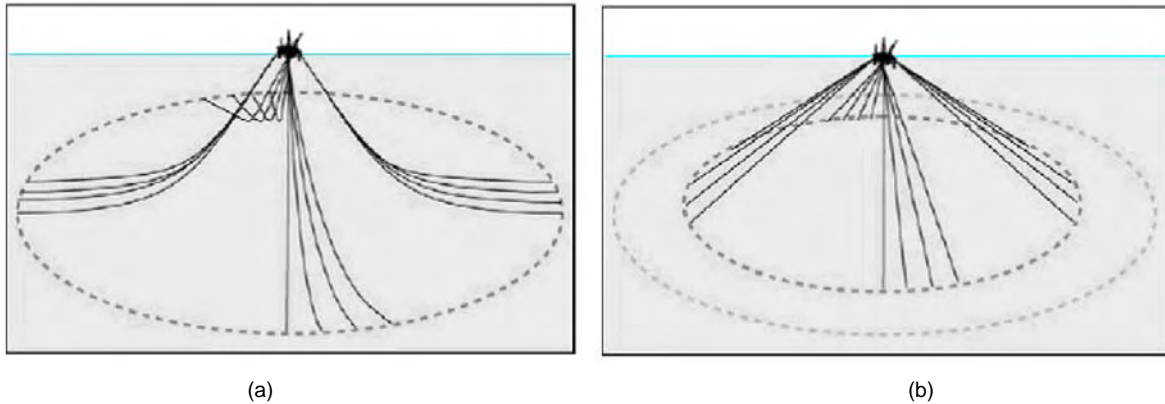


Figura 1.8. Configuración de los sistemas de amarre. (a) Catenaria, (b) Sistema tensado.

Fuente: < <http://www.dredgingengineering.com/moorings/lines/Offshore%20mooring%20lines%20mooring%20system.htm>>  
 Accesado mayo de 2018.

Los sistemas de amarre semitensados son similares a los sistemas tensados; sin embargo, la principal diferencia se debe a que tiene un mayor peso propio, lo cual genera una forma en catenaria. Estos sistemas están constituidos principalmente por cadenas y cables de fibras de acero o sintéticas. Y al igual que en los sistemas tensados, los pilotes deben resistir fuerzas horizontales y verticales.

#### 1.4.1 Materiales en líneas de amarre.

Como se ha mencionado, los principales materiales usados en las líneas de amarre son cadenas, cables de acero y fibras sintéticas. Cada uno debido a sus propiedades, son usados específicamente en ciertas zonas del sistema.

Las cadenas sirven para aumentar el peso propio, por lo tanto, generar la forma de catenaria. Además, estas se usan tanto en la zona cercana a la superficie como en la zona del lecho marino debido a su mayor resistencia al crecimiento marino y a la abrasión provocada por las partículas del suelo. Hay dos tipos de eslabones usados en las cadenas, con refuerzo (*studlink*) y sin refuerzo (*studless*), Figura 1.9. En general, se utilizan cables de acero para reducir el peso del sistema de amarre, principalmente, en aguas profundas. Sin embargo, las cadenas han demostrado durabilidad y versatilidad en operaciones en el Golfo de México, donde su vida útil es mayor a diez años [7], Figura 1.10. Los cables de fibras sintéticas se usan como alternativa a los cables de fibras de acero, esto para reducir el peso propio, así como el volumen y facilitar el manejo al ser instaladas, Figura 1.11. Sin embargo, debido a la vulnerabilidad que presentan ante el crecimiento marino y partículas del suelo, no se recomienda usar en la zona cercana a la superficie ni en el lecho marino.

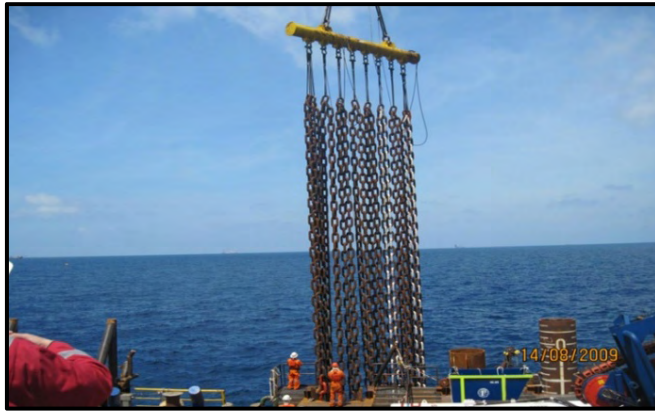


Figura 1.9. Cadenas tipo sin refuerzo (*studless*).

Fuente: < [http://offshore-ocs.com/images/m3\\_pop1.jpg](http://offshore-ocs.com/images/m3_pop1.jpg) > Accesado en mayo de 2018.



Figura 1.10. Cables de acero.

Fuente: < <http://subseaworldnews.com/2014/07/30/lankhorst-ropes-offers-pre-tension-service-for-steel-wire-rope/> > Accesado en mayo de 2018.



Figura 1.11. Fibra sintética.

Fuente: < [http://equipoffshore.sg/offspring-international-ltd-oil/#prettyphoto\[group\]/3/](http://equipoffshore.sg/offspring-international-ltd-oil/#prettyphoto[group]/3/) > Accesado en mayo de 2018.



De acuerdo con el API-RP-2SM [10], las cuerdas de fibras sintéticas se construyen de materiales que tienen propiedades viscoelásticas. Estas cuerdas presentan un comportamiento no lineal que depende de la carga media, el intervalo de carga, la relación de carga y de una historia de carga en el tiempo. La norma únicamente considera cuatro tipos de fibras, que comúnmente se emplean en la actualidad: poliéster, Aramidas, polietileno de alto módulo (HMPE) y nylon.

El poliéster es la primera fibra que se usó en aguas profundas, como sustitución a los cables de acero, esto debido a su mayor relación esfuerzo-peso, resistencia a la fatiga por compresión axial, menores fuerzas de tensión durante las tormentas, su buena resistencia al flujo plástico y su mejor manejo al momento de ser instalada. Por otra parte, las Aramidas y HMPE se consideran como fibras avanzadas. Estas son fibras sintéticas que han sido mejoradas térmica, química y mecánicamente en sus propiedades para obtener un alto módulo de rigidez en comparación con el poliéster. Sin embargo, presentan desventajas, como baja resistencia al flujo plástico o un alto costo.

La selección de la fibra sintética dependerá de las condiciones del proyecto y de la experiencia que se tenga del material. Por ejemplo, el poliéster o Aramidas no presentan problemas mayores ante el flujo plástico. Por otra parte, el HMPE y Aramidas cuentan con una mejor relación de esfuerzo-peso y mejor rigidez que el poliéster y nylon.

### 1.5 Antecedentes

*Noble Denton Europe Limited* (2006) [16] presentó un reporte de mejora de los sistemas de amarre de Sistemas Flotantes de Producción (SFP). Los objetivos principales de este reporte son:

- Mejorar la seguridad de los SFP.
- Retroalimentar a los diseñadores a partir de la operatividad e inspección.
- Publicar la importancia y vulnerabilidad de los sistemas de amarre.

Para el diseño de los sistemas de amarre, se consideraron principalmente las siguientes condiciones de carga:

- Componente estático de viento, oleaje y corriente.
- Componentes en la frecuencia de oleaje (componentes de primer orden).
- Componentes de baja frecuencia debido al comportamiento de las líneas (componentes de segundo orden).

La filosofía de diseño consistió en mejorar el comportamiento del sistema de amarre tanto que el desplazamiento de la embarcación no exceda el desplazamiento permisible de los *risers*, como asegurar que la tensión esté dentro de los parámetros permitidos. Se consideró una vida útil de 20 años y periodos de retorno de 100 años para los parámetros metoceánicos. Así también, puntualiza fallas potenciales de acuerdo con las estadísticas y la experiencia adquirida. Por ejemplo, sobrecargas, sobreesfuerzos, fatiga en la catenaria, roldanas o conexiones, corrosión, desgaste, abrasión y fallas mecánicas de las líneas de amarre. Una falla potencial, o la suma de varias, harán que falle una línea y, por lo tanto, la posible falla de varias líneas, poniendo en riesgo la integridad de la plataforma.

*Stress Engineering Services, Inc.* (SES Inc, 2010) [17] presentó una evaluación de materiales sintéticos para sistemas de amarre, donde se compara el poliéster con fibras avanzadas para la construcción de líneas de amarre para aguas profundas (1,500 m a 4,500 m). En la Figura 1.12 se ilustran curvas comparativas de Tenacidad-Deformación de las fibras avanzadas.

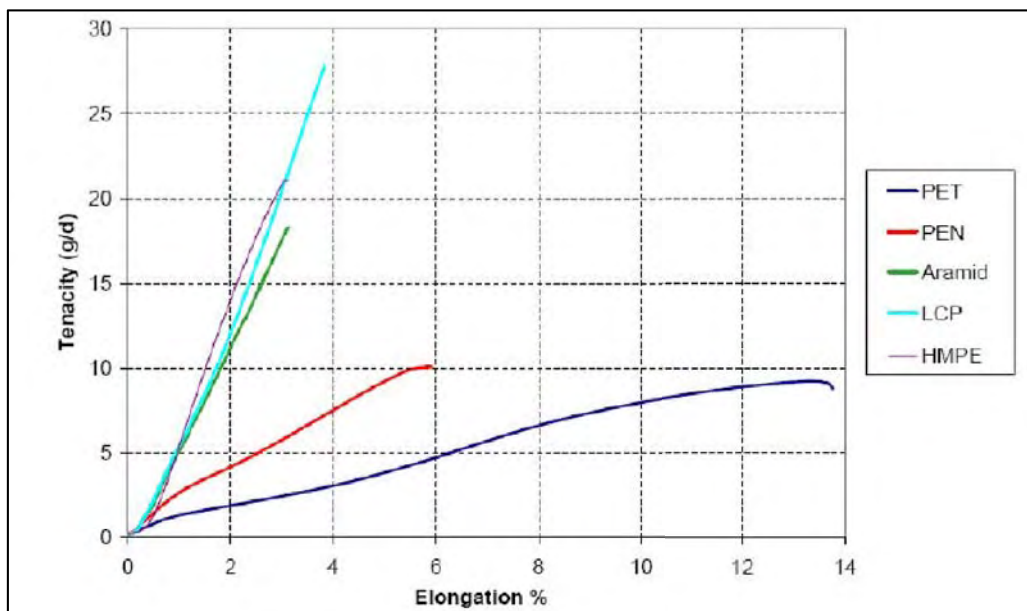


Figura 1.12. Curva tenacidad-elongación de fibras de alto módulo [17].

El uso de poliéster se ha convertido en la principal fibra sintética a considerar en sistemas permanentes. Esto se debe a la experiencia adquirida, a su peso más ligero comparado con un cable de acero, a un comportamiento conocido y a su menor costo comparado con las fibras sintéticas avanzadas. Por otra parte, las fibras sintéticas avanzadas son una nueva opción para mayores tirantes, cerca de los 4,500 m. SES Inc. [17] realizó un estudio paramétrico para conocer el comportamiento de diversos tipos de fibras sintéticas para diferentes tirantes de agua. De este estudio, se concluyó que tanto las fibras sintéticas de bajo

módulo (poliéster) como las fibras sintéticas de alto módulo (Aramidas y HMPE) son viables para diferentes tirantes de agua. Sin embargo, en caso de usar cuerdas de HMPE se debe considerar como un caso especial debido a su flujo plástico no lineal.

DeAndrade *et al.* (2010) [18] de la compañía SOFEC Inc. presentaron una de sus experiencias con el análisis, diseño e instalación de cuerdas de poliéster en los sistemas de amarre para aguas profundas. A partir de estas investigaciones, los autores desarrollaron varias pruebas a escala para determinar una curva de rigidez para el diseño de los sistemas de amarre con poliéster, sus características no lineales y otros parámetros comúnmente usados en las cuerdas de poliéster, dentro de las cuales se destaca:

Prueba experimental sobre la rigidez de diseño. Esta prueba consistió en una combinación de la carga que rige en la estructura combinada con una carga inducida por movimientos de oleaje (del tipo de primer orden). En esta prueba se simulaban cargas de operación muy cercanas a las presentadas en campo.

Prueba de rigidez dinámica, la cual es similar a la prueba de rigidez de diseño, con la diferencia de que esta prueba repite una mayor cantidad de ciclos hasta obtener una meseta en la curva de rigidez-ciclos. Además, realizaron una tercera prueba cuasi-estática, la cual consiste en un incremento monótono de carga para obtener una relación lineal constante entre su carga y rigidez. De estas pruebas concluyeron que se obtienen diferentes rigideces ante cada prueba. La prueba cuasi-estática es la que presenta valores más pequeños mientras que la prueba dinámica presenta los valores más altos. Por lo tanto, recomiendan no usar estos datos por separado, ya que el diseño resultante sería una sección conservadora. En cambio, propone utilizar una rigidez obtenida con los componentes de carga de manera separada y después combinada, o la rigidez de diseño que, de acuerdo con sus comparaciones muestran una diferencia menor al 3%.

Leite *et al.*, (2011) [19] presentaron un documento que describe las ventajas de usar HMPE en los sistemas de amarre para MODU's (*Mobile Offshore Drilling Units*) principalmente en tirantes de agua mayores a los 2,000 m. Este documento se centra en el uso de HMPE en comparación con el poliéster en las costas de Brasil. Sin embargo, el principal reto que presentan las cuerdas HMPE es su flujo plástico. Se ha observado, tanto en pruebas como en experiencias adquiridas, que las fibras HMPE presentan grandes elongaciones debido a las cargas estáticas permanentes y a la temperatura del medio. Como alternativa para sistemas permanentes en aguas profundas que presentan grandes tormentas o huracanes, proponen el uso de cuerdas híbridas. Estas están compuestas por tramos de poliéster y

tramos de polietileno de alto módulo, y la longitud de los segmentos dependerá del tirante de agua. La configuración recomendada por dicho documento es usar cuerdas de HMPE en las zonas más frías (cerca del lecho marino) y cuerdas de poliéster en zonas más cálidas (cerca de la superficie). Por ejemplo, para un tirante de agua de 1,800 m se recomienda un 50% de cada cuerda, mientras que para un tirante de agua de 3,000 m se recomienda un 75% de HMPE y 25% de poliéster. En la Figura 1.13 se ejemplifican las recomendaciones de sistemas híbridos.

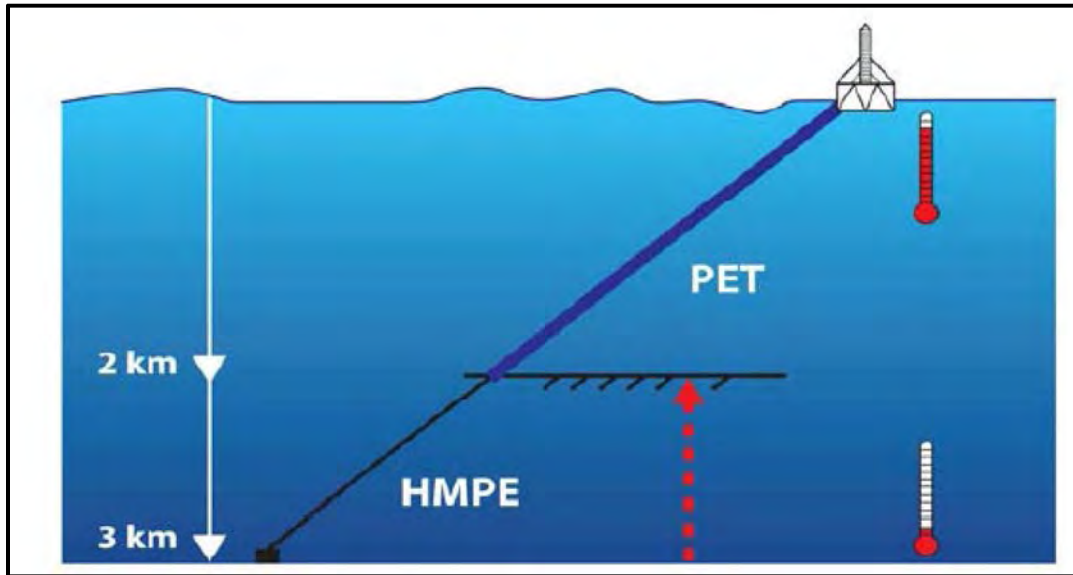


Figura 1.13. Sistemas de amarre híbridos [19].

## 1.6 Motivación y alcance

Debido a la nueva apertura de la explotación y de la producción petrolera en México impulsada por la Reforma Energética, los retos tecnológicos y de formación de capital humano especializado que presenta el país son inminentes. Esta investigación es una oportunidad para aprender sobre el análisis y diseño de los sistemas de amarre de plataformas tipo semisumergibles para aguas profundas, así como la optimización de los mismos.

El alcance de este trabajo comprende el desarrollo de análisis estáticos y dinámicos de líneas de amarre conformadas por cadenas de acero y fibras sintéticas en aguas profundas del Golfo de México, para al final, tener una guía de análisis y de las secciones que pueden ser empleadas de acuerdo con el tirante de agua. Todos los análisis de este trabajo fueron conducidos a través de modelos acoplados con los movimientos del sistema flotante de producción.

## 1.7 Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es:

- Realizar el análisis y diseño del sistema de amarre de una plataforma tipo semisumergible para la producción de hidrocarburos en aguas profundas del Golfo de México.

Los objetivos particulares de esta investigación son:

- Identificar las características de los sistemas de amarre, cadenas y fibras sintéticas.
- Optimizar las dimensiones de los componentes del sistema de amarre, cadenas y fibras sintéticas.
- Determinar factores de concentración de esfuerzos en eslabones de cadenas reforzadas (*studlink*) y no reforzadas (*studless*).

## 2 ANÁLISIS DE SISTEMAS DE AMARRE

Los análisis de los sistemas de amarre se desarrollaron con el programa de cómputo comercial Deep-C [8], el cual se enfoca en realizar análisis dinámicos en el dominio del tiempo de líneas de amarre y *risers* de sistemas flotantes de producción.

### 2.1 Marco teórico

De acuerdo con el manual teórico del programa Deep-C [8], el programa cuenta con la opción de desarrollar análisis acoplados o desacoplados entre la embarcación y el sistema de amarre y/o *risers*. En los análisis desacoplados, las ecuaciones de movimiento de la embarcación son resueltas en el dominio del tiempo, y los efectos de las líneas de amarre y *risers* son adicionadas cuasi-estáticamente usando resortes no lineales, Figura 2.1. Mientras que, en los análisis acoplados, los sistemas de ecuaciones tanto de la embarcación como de los elementos esbeltos (sistemas de amarre y *risers*) son resueltos simultáneamente por medio de análisis dinámicos con una aproximación no lineal en el dominio del tiempo, Figura 2.2. En este trabajo todos los análisis de los sistemas de amarre fueron del tipo acoplados.

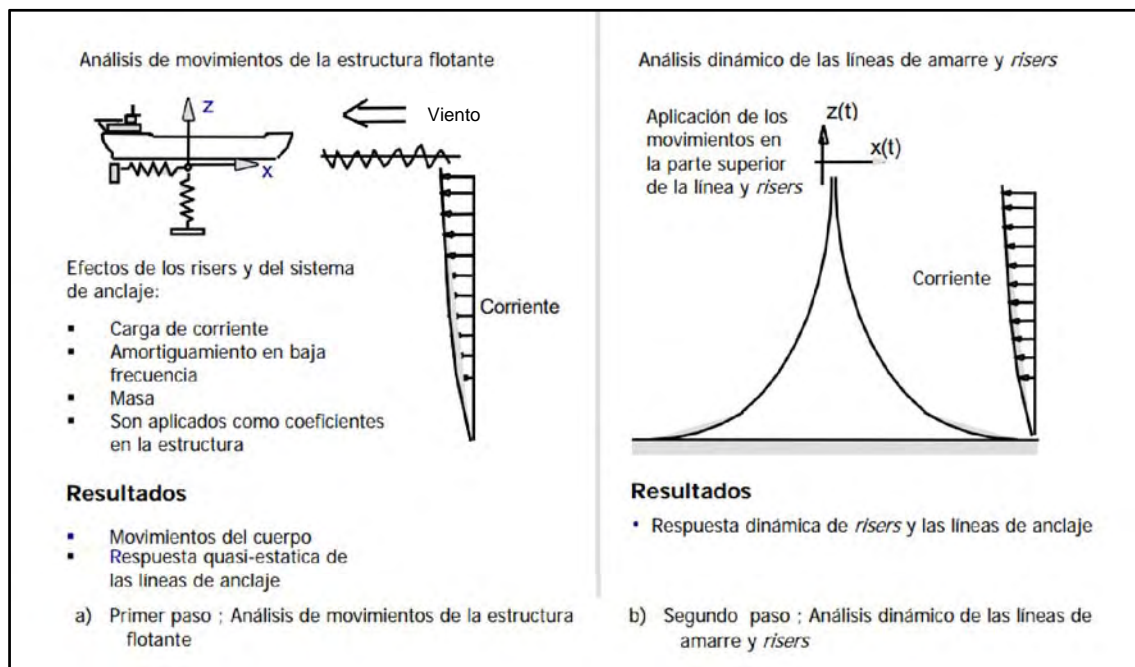


Figura 2.1. Análisis desacoplado [9].

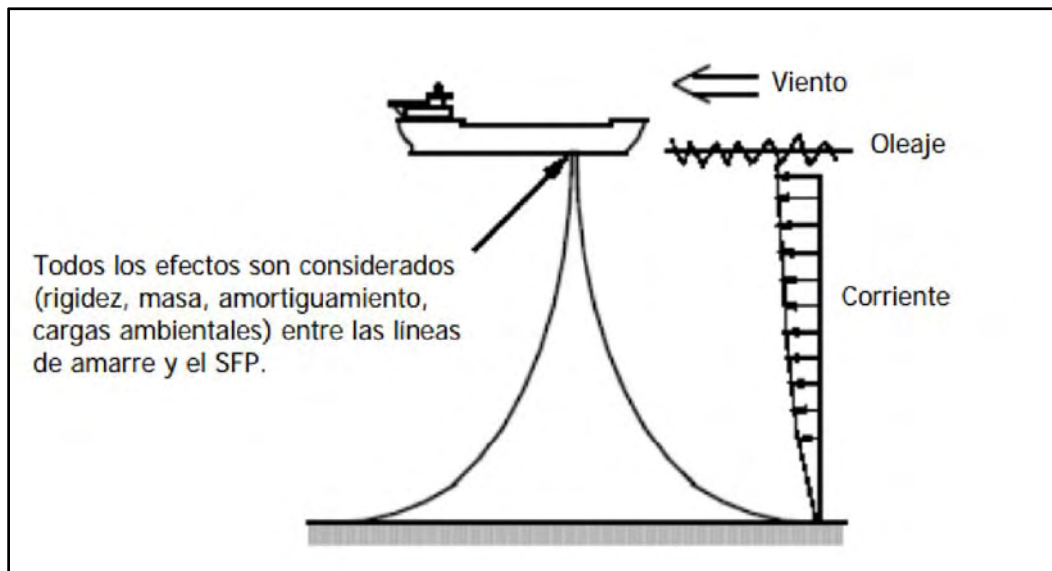


Figura 2.2. Análisis acoplado [9].

### 2.1.1 Sistemas de amarre

Los sistemas de amarre, que trabajan como resortes mecánicos, proveen resistencia a cargas ambientales, donde el desplazamiento de la embarcación desde una posición en equilibrio causa una fuerza de restitución a la reacción de la carga aplicada. Los efectos de los resortes a tensión de las líneas de amarre se derivan de dos mecanismos: efectos de la catenaria, y efectos elásticos de la línea.

Las líneas de amarre en catenaria son definidas por la ecuación diferencial de la catenaria, que considera el peso sumergido de la línea, cargas horizontales en la línea, tensión de la línea y pendiente de la línea en el punto de amarre. En las líneas tensadas las líneas son casi rectas entre el punto de amarre y el punto de anclaje, usualmente con un ángulo de salida de entre  $45^\circ$  y  $60^\circ$  con respecto a la vertical.

### 2.1.2 Respuesta de análisis desacoplados

Los movimientos de un sistema flotante de producción, así como los efectos de las cargas en los sistemas de amarre y *risers* se analizan por dos procedimientos de forma separada [8], tal como se enlista a continuación:

1. Cálculo de los movimientos del cuerpo flotante basado en la teoría de un cuerpo de grandes dimensiones, en el cual las cargas de las líneas de amarre y *risers* son modeladas únicamente como fuerzas lineales de restitución. Un procedimiento lineal

en el dominio de la frecuencia, o un procedimiento desacoplado más sofisticado en el dominio del tiempo pueden ser usados.

2. Los movimientos de la embarcación calculados en el punto 1 se aplican como una excitación del sistema de amarre o *risers* para calcular los efectos de las cargas dinámicas. Típicamente, esto es obtenido al usar un procedimiento no lineal en el dominio del tiempo debido a las propiedades inherentes no lineales presentes en estos sistemas.

Las principales deficiencias de esta aproximación de procedimientos desacoplados son:

- Las cargas medias sobre *risers* o líneas de amarre debido a la corriente no son consideradas.
- El efecto importante de amortiguamiento de los sistemas de amarre y *risers* en los movimientos de baja frecuencia pueden ser incluidos, solamente, de una manera simplificada.
- El comportamiento dinámico de las líneas de amarre y *risers* no influye en el movimiento de la embarcación en la frecuencia de oleaje.

Los efectos de estas deficiencias se incrementan proporcionalmente con el incremento del tirante de agua. En aguas profundas, la interacción entre el sistema de amarre y/o *risers* y la embarcación será considerable, y un análisis desacoplado puede ser inexacto.

### 2.1.3 Respuesta de análisis acoplados

La respuesta en un análisis acoplado entre la embarcación y estructuras esbeltas se resuelve simultáneamente en cada paso de la simulación. De esta manera, la completa interacción entre la estructura flotante y el sistema de amarre considera la eliminación de las limitaciones de los análisis desacoplados.

### 2.1.4 Ecuaciones de movimiento acoplado

Las ecuaciones de equilibrio dinámico gobernantes del sistema espacial discretizado son expresadas por [8]:

$$R^I(r, \ddot{r}, t) + R^D(r, \dot{r}, t) + R^S(r, t) = R^E(r, \dot{r}, t) \quad \text{Ec (2.1)}$$

Donde  $R^I, R^D, R^S, R^E$ , representan los vectores de fuerza inercial, amortiguamiento, fuerzas internas y fuerzas externas, respectivamente,  $r, \dot{r}, \ddot{r}$ , representan los vectores de desplazamiento, velocidad y aceleración, respectivamente, y  $t$  indica el tiempo de análisis.

El vector de fuerzas de inercia se expresa como:



$$R^I(r, \dot{r}, t) = M(r)\ddot{r} \quad \text{Ec (2.2)}$$

Donde  $M$  es la matriz del sistema de masa que incluye masa estructural, masa interna de fluidos en tuberías y masas hidrodinámicas.

El vector de fuerzas de amortiguamiento se expresa como:

$$R^D(r, \dot{r}, t) = C(r)\dot{r} \quad \text{Ec (2.3)}$$

Donde  $C$  es la matriz de amortiguamiento del sistema que incluye contribuciones desde el amortiguamiento interno estructural hasta el amortiguamiento hidrodinámico.

El vector de fuerzas internas se expresa como:

$$R^S(r, t) = K(r)r \quad \text{Ec (2.4)}$$

Donde  $K$  es la matriz de rigideces del sistema.

El vector de reacciones externas  $R^E(r, \dot{r}, t)$  se calcula con base en los estados instantáneos de esfuerzo en los elementos. El vector de fuerzas externas incluye peso y flotación, desplazamiento forzado, fuerzas ambientales y fuerzas específicas. La Ecuación 2.1 expresa un sistema no lineal de ecuaciones diferenciales. La no linealidad puede ser debida a la dependencia del desplazamiento en las fuerzas de inercia y amortiguamiento y también al acoplamiento entre el vector de cargas externas y velocidad y desplazamiento estructural.

Además, puede haber una relación no lineal entre las fuerzas internas y deformaciones. La solución numérica de la Ecuación 2.1 se basa en un procedimiento incremental, usando un esquema de integración en el tiempo, de acuerdo con el método de la familia Newmark  $\beta$ . Mientras que para asegurar el equilibrio entre las fuerzas internas y las fuerzas externas en cada paso se usan las iteraciones de Newton-Raphson.

Introduciendo las matrices de masa tangencial, amortiguamiento y rigidez al inicio del incremento, e implementando el vector de fuerza residual del paso previo, la ecuación incremental linealizada de movimiento está dada por:

$$M_t \Delta \ddot{r} + C_t \Delta \dot{r} + K_t \Delta r = R_{t+\Delta t}^E - (R_t^I + R_t^D + R_t^S) \quad \text{Ec (2.5)}$$

Donde  $\Delta r, \Delta \dot{r}, \Delta \ddot{r}$  es el incremento nodal de desplazamiento, de velocidad y de aceleración, respectivamente.

Todos los vectores de fuerzas y matrices del sistema se establecen por ensamble de la contribución del elemento y contribución del componente nodal en un marco de referencia

global común. En un análisis acoplado, la embarcación se considera como un componente nodal que asume a la embarcación como un cuerpo rígido. Las fuerzas sobre la embarcación, como un gran cuerpo, se calculan separadamente en cada paso, y se incluyen en el vector de fuerzas externas  $R^E$ , a excepción de las fuerzas inerciales, representadas como masas y frecuencias debido a la masa adherida, las cuales se incluyen en la matriz de masa del sistema (Ecuación 2.2). En la implementación práctica del análisis en el dominio del tiempo con excitaciones irregulares de viento y oleaje, las series de excitación en el tiempo se regeneran por medio de espectros de Fourier.

## 2.2 Normatividad

Debido a que el análisis y diseño de unidades flotantes petroleras en nuestro país se encuentra en sus inicios, no existe normatividad nacional que marque la pauta para el desarrollo de dicha tecnología. Para estos casos se aplica la jerarquización de los documentos normativos enlistados en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Jerarquización de los documentos normativos.

Primer orden	La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
Segundo orden	Tratados Internacionales.
Tercer orden	Las Leyes. Leyes especializadas en una materia, y después, Leyes Marco o Generales.
Cuarto orden	Reglamentos. Reglamentos especializados y después, Reglamentos de Marco.
Quinto orden	Normas. Regulado por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN).
Sexto orden	Normas Internacionales o Extranjeras.

Debido a esto, en el diseño de unidades flotantes aplica la normatividad internacional ISO-19901, así como “Prácticas Recomendadas por el Instituto Americano del Petróleo (API, *American Petroleum Institute*)” y “Estándares Costa fuera por ‘Det Norske Veritas’ (DNV)”, entre otros. Específicamente, para el diseño de unidades flotantes y sistemas de amarre aplican las siguientes normas enlistadas en la Tabla 2.2. Dichos documentos tienen el fin de presentar métodos racionales para el análisis, diseño o evaluación de los sistemas estacionarios de unidades flotantes. Esto abarca desde las condiciones ambientales que influyen hasta recomendaciones para su inspección. Esta investigación se basa en el API, debido a que es la más se usa en el Golfo de México del lado norteamericano. No obstante, se recurrirá a los estándares de DNV para los casos que el API no abarque.

Tabla 2.2. Normatividad extranjera.

API-RP-2SK [6]	Design and analysis of stationkeeping system for floating structures. Third edition. October 2005.
API-RP-2SM [10]	Recommended practice for design, manufacture, installation, and maintenance of synthetic fiber ropes for offshore mooring. First edition. March 2001.
API-2INT-MET [11]	Interim guidance on hurricane conditions in the Gulf of Mexico. May 2007.
DNV-OS-E301 [12]	Position mooring. October 2010.
DNV-OS-E302 [13]	Offshore mooring chain. October 2008.
DNV-OS-E303 [14]	Offshore fibre ropes. February 2013.
DNV-OS-E304 [15]	Offshore mooring steel wire ropes. October 2009.

Dichos documentos tienen el fin de presentar métodos racionales para el análisis, diseño o evaluación de los sistemas de posicionamiento de unidades flotantes. Esto abarca desde las condiciones ambientales que influyen en su diseño hasta recomendaciones para su inspección. Este trabajo considera como base el API.

De acuerdo con el API-RP-2SK [6] los sistemas de amarre se deben diseñar para dos condiciones principales, condición máxima de diseño y condición máxima de operación. La condición máxima de diseño considera un periodo de retorno de 100 años para las condiciones ambientales de oleaje, corriente y viento. Mientras que la condición máxima de operación es aquella ante la cual la estructura puede continuar trabajando.

Las cargas consideradas para el análisis de las líneas de amarre son cargas que incluyen al viento, corriente y fuerzas de deriva de oleaje y que son constantes en dirección y magnitud por una duración de interés; cargas cíclicas de baja frecuencia, que excitan la plataforma en su periodo natural de avance o retroceso, deriva y guiñada, las cuales se encuentran entre 1 y 10 minutos; y cargas cíclicas de frecuencia de oleaje, que se encuentran en un periodo entre 5 y 30 segundos resultantes del movimiento de oleaje independientes de la rigidez del sistema de amarre.

Para la revisión del factor de seguridad mínimo y desplazamiento horizontal se consideran dos tipos de análisis: el análisis cuasi-estático y el análisis dinámico. El análisis cuasi-estático del sistema de amarre se usa para determinar la respuesta de desplazamientos medios y de baja frecuencia. Este incluye el desplazamiento de la unidad, peso y flotación de las líneas de amarre, elasticidad de los componentes de las líneas de amarre y reacciones y fuerzas de fricción del lecho marino. Mientras que el análisis dinámico del sistema de amarre se usa para

determinar desplazamientos en la frecuencia de oleaje y considera la masa, el amortiguamiento y aceleración del fluido, además de que es un análisis en el dominio del tiempo que incluye efectos no lineales de la rigidez, geometría, fuerzas del fluido y efectos del lecho marino.

De acuerdo con el API-RP-2SK [6] en el diseño de las líneas de amarre se deben considerar los siguientes criterios de diseño: diseño por fuerza estática y diseño por fuerza dinámica, los cuales incluyen una condición intacta, donde todas las líneas se encuentran intactas, y dos condiciones dañadas que consideran que alguna línea ha fallado y el sistema se encuentra oscilando en una nueva posición media. Los requerimientos que debe cumplir el diseño de las líneas de amarre incluyen, principalmente, el desplazamiento horizontal de la embarcación, fuerzas de tensión en las líneas y vida por fatiga. Así también, se debe considerar, la corrosión, desgaste, una zona libre de desplazamiento y los requerimientos de las estructuras de soporte.

Los desplazamientos están limitados por los requerimientos y limitaciones de los *risers* y otros componentes tales como umbilicales. Las fuerzas de tensión en las líneas de amarre deben cumplir un factor de seguridad con respecto a la Fuerza Mínima de Ruptura (MBS, *Minimum Breaking Strength*). En la Tabla 2.3 se muestra un comparativo de dichos factores marcados por el API-RP-2SK [6]. Mientras que la vida por fatiga, de acuerdo con el API-RP-2SK [6], debe ser al menos de tres veces la vida útil del sistema de amarre.

Tabla 2.3. Factores de seguridad indicados por la normatividad API-RP-2SK [6].

Condición	Análisis	%MBS	FS
Intacta	Cuasi-estático	50	2.0
	Dinámico	60	1.67
Dañada	Cuasi-estático	70	1.43
	Dinámico	80	1.25

De acuerdo con el API-RP-2SK [6], para el daño por corrosión y desgaste se debe considerar una reducción en las zonas de marea y movimiento, entre 0.2 mm y 0.4 mm por año para las cadenas, y entre 0.1 mm y 0.2 mm por año para el resto de la línea de amarre. Para las estructuras de soporte como seguros de cadena, guías de cadena, accesorios y cimentación deben tener una fuerza de diseño igual o mayor que las líneas de amarre.

### 2.3 Parámetros ambientales

Debido a que no se cuenta con datos oceanográficos disponibles del Golfo de México del lado mexicano, se usarán los parámetros para la zona oeste indicados en el API-2INT-MET [11]. La ubicación de la zona oeste se muestra en la Figura 2.3 y los valores se indican en la Tabla 2.4.

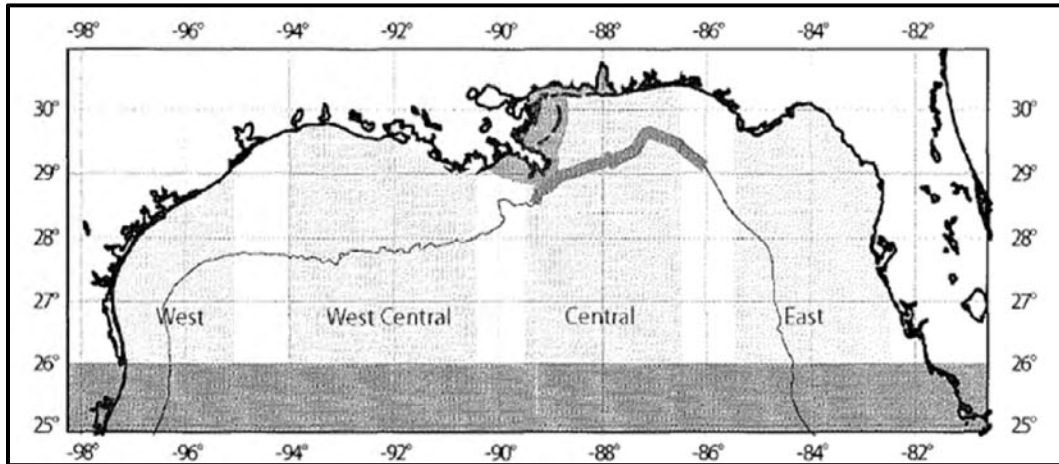


Figura 2.3. Áreas y regiones de aplicación en el Golfo de México [11].

Tabla 2.4. Parámetros ambientales para la zona oeste [11].

Viento		Oleaje		
Velocidad	39.90 m/s	Teoría de Oleaje	Espectro de Jonswap	
Altura de referencia	10.00 m	Altura de ola	13.1 m	
Exponente de perfil	0.125	Periodo de ola	15.1 s	
		Factor de pico ( <i>Peakedness</i> )	2.5	
Corriente >=150 m (desde el NMM al lecho marino)				
Tirante de agua	-Tirante	-83.8 m	-41.9 m	0.00 m
Dirección	0°	0°	0°	0°
Velocidad de corriente	0.0 m/s	0.0 m/s	1.5 m/s	2.0 m/s

Para las propiedades mecánicas del suelo se propone una rigidez vertical de 25 KPa, debido a que no se cuenta con información disponible de estudios geotécnicos de zonas en aguas profundas.

## 2.4 Grados de libertad

Los nombres de los grados de libertad son los usados para cualquier embarcación marítima. Tres de traslación, arfada, deriva y avance o retroceso (*heave, sway y surge, respectivamente*), y tres de rotación, cabeceo, balanceo y guiñada (*pitch, roll y yaw, respectivamente*), aplicando la regla de la mano derecha. En la Figura 2.4 se muestra una descripción gráfica de los seis grados de libertad.

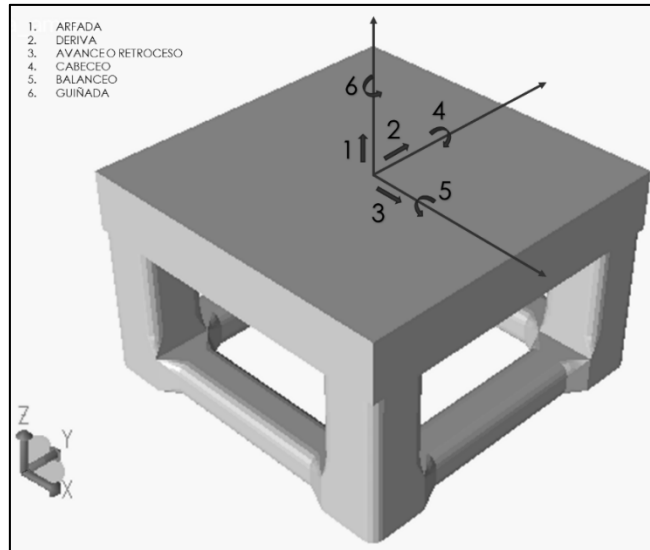


Figura 2.4. Grados de libertad de una embarcación.

## 2.5 Parámetros de la plataforma tipo semisumergible

Para este trabajo, se plantea el uso de una plataforma tipo semisumergible para un volumen de producción de 100 mbd con un peso de cubierta de 18,000 ton, y con las características principales siguientes:

- Longitud en ambas direcciones de 90 m.
- Altura total de columnas de 40 m.
- Altura de cubierta de 16 m.
- Calado de 22 m.
- Ancho de pontón de 12 m.
- Altura de pontón de 10 m.
- Ancho de columna de 16 m (ambas direcciones).
- Peso de cubierta de 18,000 ton.
- Desplazamiento de 49,763 m<sup>3</sup>.

Con base en sus características geométricas, se realizó el análisis hidrodinámico de la plataforma tipo semisumergible. De acuerdo con la normatividad aplicable, la plataforma cumple con los criterios de estabilidad. Además, se obtuvieron las funciones de transferencia (RAO, Response Amplitude Operator), las cuales se usaron como información de entrada para los análisis del sistema de amarre, y debido a que no es alcance de esta investigación no se muestra el cálculo de dichas funciones.

## 2.6 Parámetros de diseño para el sistema de amarre

Se realizaron análisis estáticos y dinámicos acoplados entre la embarcación y el sistema de amarre. Así también, se consideraron eslabones reforzados para las cadenas, y poliéster como material para la fibra sintética. En la Figura 2.5 se muestra la configuración del sistema de amarre a utilizarse en esta investigación, donde se indica cada parte del sistema de amarre con líneas de amarre compuestas por cadenas y fibras sintéticas, así como una unidad flotante tipo semisumergible.

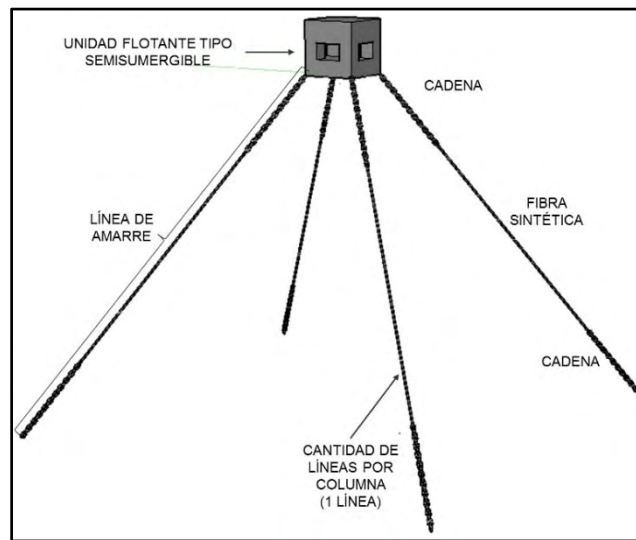


Figura 2.5. Configuración general del sistema de amarre a utilizarse en esta investigación.

El sistema de amarre es simétrico con 4 variables de diseño propuestas. La primera variable considera tres tirantes de agua, 1,000 m, 1,500 m y 2,000 m. En la Figura 2.6 se identifica el tirante de agua en el sistema de amarre. Las otras tres variables de diseño consideradas incluyen el número de líneas por columna (tres o cuatro líneas), tres ángulos de salida de las líneas con respecto a la vertical, y tres pretensiones que se controlan en función de la longitud de la línea. En la Figura 2.7 se identifican el número de líneas por columna. La identificación por número de las líneas de amarre es en sentido contrario a las manecillas del reloj como se muestra en la Figura 2.8.

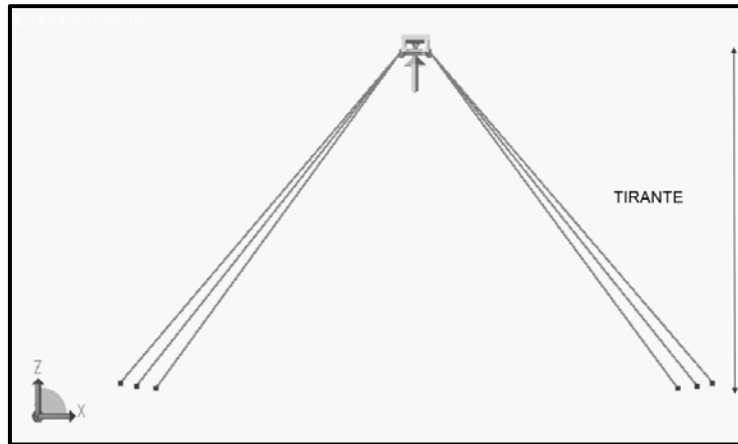


Figura 2.6. Identificación de la variable de diseño del tirante de agua.

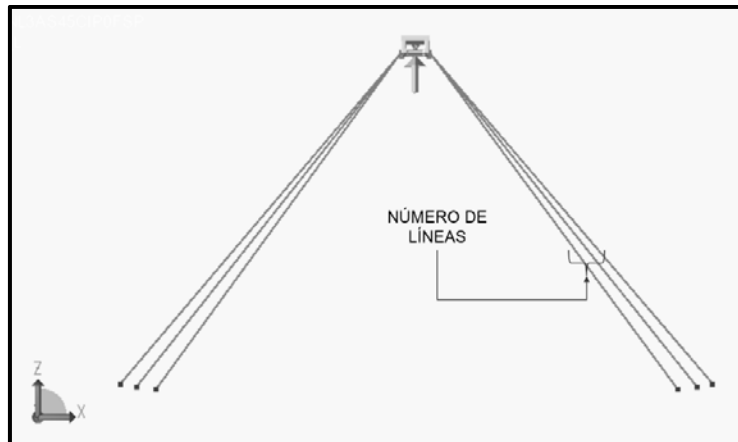


Figura 2.7. Identificación de número de líneas por columna.

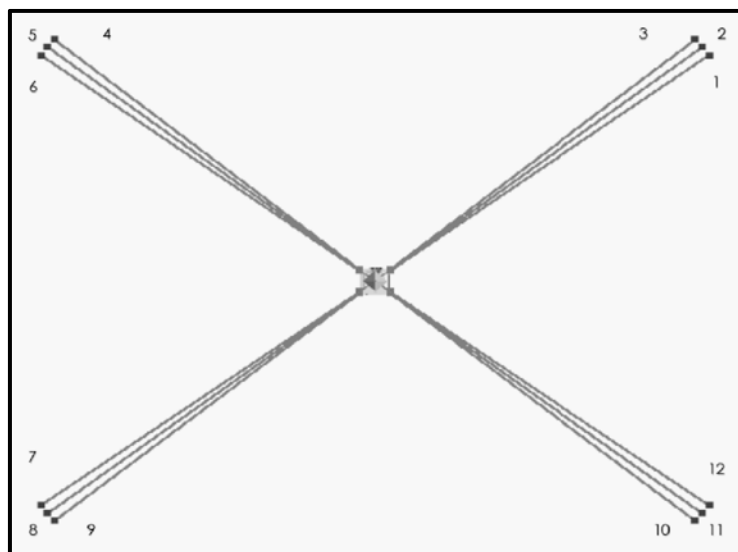


Figura 2.8. Numeración de las líneas de amarre considerando 3 líneas por columna.



El ángulo de salida depende de la ubicación del punto de anclaje con respecto a la posición de la plataforma, y se calcula como el ángulo con respecto a la vertical que se forma entre la ubicación horizontal del pilote y el tirante de agua absoluto, como se indica en la ecuación 2.6. La ubicación de los pilotes se calcula como el tirante de agua menos la ubicación de los puntos de amarre en la plataforma (guías de cadena) más el producto del tirante de agua por un factor, como se indica en la ecuación 2.7. Las coordenadas en “z” de los puntos de amarre de la plataforma tipo semisumergible son en la coordenada -19.00. Estos valores se proporcionan en la Tabla 2.5 y se esquematizan en la Figura 2.9.

$$\text{Ángulo de salida} = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Ubicación horizontal del pilote}}{\text{Tirante absoluto}} \right) \quad \text{Ec (2.6)}$$

$$\text{Ubicación horizontal del pilote} = (\text{Tirante} - 19.00) + (\text{Tirante} * \text{factor}) \quad \text{Ec (2.7)}$$

Tabla 2.5. Determinación de ángulos de salida de las líneas de amarre.

Tirante de agua(m)		Factor	Ubicación horizontal del pilote	Ángulo de salida
Coordenada (z)	Absoluta			
1,000	981	0.00	$981 + (\text{Tirante} * 0.00) = 981$	45.00°
		0.05	$981 + (\text{Tirante} * 0.05) = 1,031$	46.42°
		0.10	$981 + (\text{Tirante} * 0.10) = 1,081$	47.78°
1,500	1481	0.00	$1,481 + (\text{Tirante} * 0.00) = 1,481$	45.00°
		0.05	$1,481 + (\text{Tirante} * 0.05) = 1,556$	46.42°
		0.10	$1,481 + (\text{Tirante} * 0.10) = 1,631$	47.78°
2,000	1981	0.00	$1,981 + (\text{Tirante} * 0.00) = 1,981$	45.00°
		0.05	$1,981 + (\text{Tirante} * 0.05) = 2,080$	46.42°
		0.10	$1,981 + (\text{Tirante} * 0.10) = 2,180$	47.78°

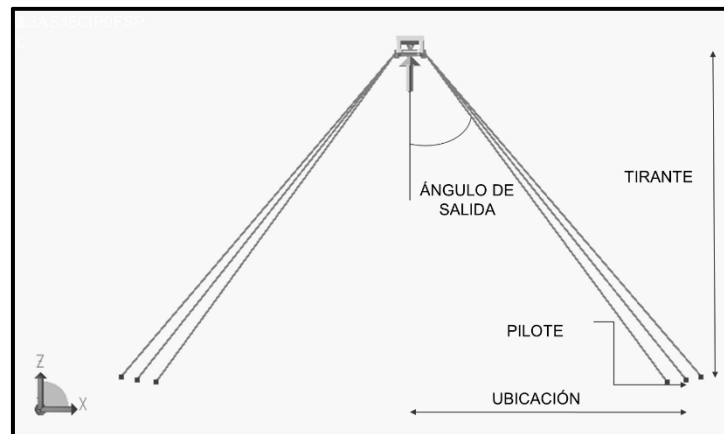


Figura 2.9. Identificación del ángulo de salida de las líneas de amarre.

La fuerza de pretensión en la línea es el valor de la fuerza de tensión en un estado de equilibrio inicial. Se propone disminuir la fuerza de pretensión en función del incremento de longitud de la línea considerando tres valores de incremento de longitudes. La fuerza de pretensión es la asociada a la suma de la longitud de la línea más el producto del tirante de agua multiplicado por 0.00, 0.01 y 0.02 respectivamente. Estos valores se presentan en la Tabla 2.6 y se identifican en la Figura 2.10.

Tabla 2.6. Determinación de la longitud de las líneas de amarre para control de la fuerza de pretensión.

Tirante de agua (m)	Factor	Incremento de longitud en la línea de amarre (m)
1,000	0% Tirante	0
	1% Tirante	10
	2% Tirante	20
1,500	0% Tirante	0
	1% Tirante	15
	2% Tirante	30
2,000	0% Tirante	0
	1% Tirante	20
	2% Tirante	40

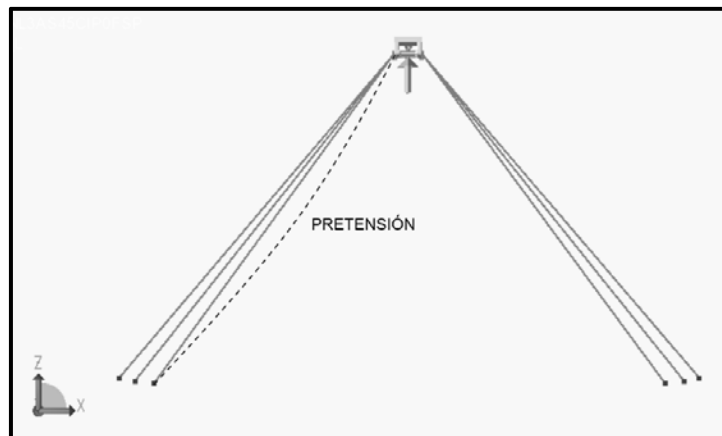


Figura 2.10. Identificación de la longitud de las líneas de amarre para control de la fuerza de pretensión.

Cada análisis se realizó bajo 12 combinaciones de carga ambientales. Debido a que se considera una plataforma simétrica en dos ejes, solo se revisó en tres direcciones: 180°, 202° y 225°. Con base en lo establecido en el API-2INT-MET las fuerzas ambientales se deben

considerar no colineales. En la Tabla 2.7 se describen las direcciones y factores asociados a cada fuerza ambiental por combinación, los cuales modifican la velocidad del viento y corriente y la altura del oleaje.

Tabla 2.7. Combinaciones ambientales.

Dirección	Comb.	Viento		Oleaje		Corriente	
		Factor	Dir.	Factor	Dir.	Factor	Dir.
180°	A	0.95	165°	1.00	180°	0.75	195°
	B	1.00	165°	0.95	180°	0.75	195°
	C	0.70	180°	0.70	180°	1.00	230°
202°	D	0.95	187°	1.00	202°	0.75	217°
	E	1.00	187°	0.95	202°	0.75	217°
	F	0.70	202°	0.70	202°	1.00	252°
	G	0.95	217°	1.00	202°	0.75	187°
	H	1.00	217°	0.95	202°	0.75	187°
	I	0.70	252°	0.70	202°	1.00	202°
225°	J	0.95	210°	1.00	225°	0.75	240°
	K	1.00	210°	0.95	225°	0.75	240°
	L	0.70	225°	0.70	225°	1.00	275°

En la Figura 2.11 se representa un ejemplo de las combinaciones de acuerdo con la Tabla 2.7. Además de estas variables, se realizan análisis considerando tres condiciones: una intacta y dos condiciones dañadas. Las condiciones dañadas consideran que la línea más tensada o la segunda línea más tensada se ha perdido, pero sin considerar la parte transitoria de la respuesta. En la Figura 2.12 se muestra una representación gráfica de estas condiciones.

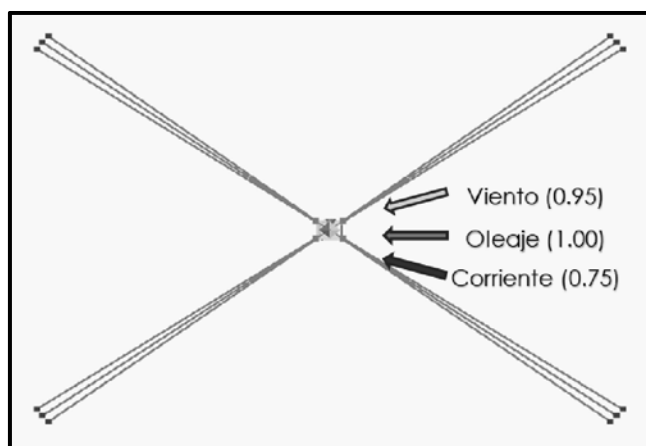


Figura 2.11. Representación gráfica de la combinación A.

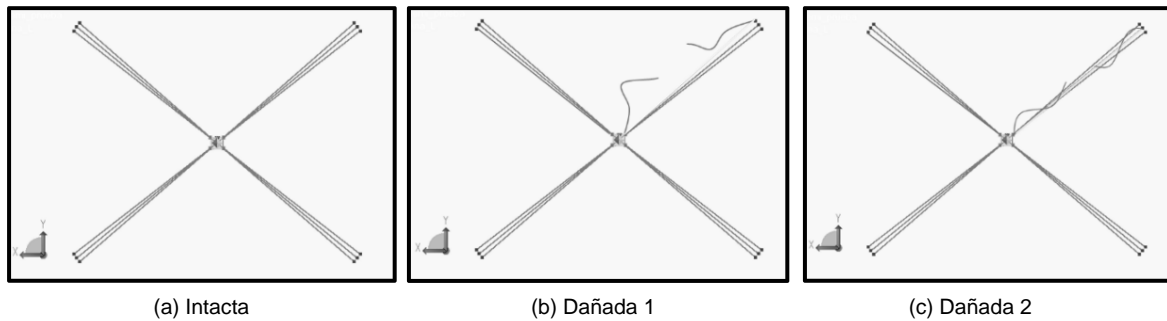


Figura 2.12. Representación de las condiciones de análisis.

Cada línea de amarre está compuesta por tres segmentos, en ambos extremos por cadena de acero y en la parte central por cable de poliéster. Se delimitaron las propiedades geométricas y mecánicas, tanto para la fibra sintética como para la cadena, las cuales son constantes en todos los análisis. Además, el porcentaje de la longitud de cada sección de la línea de amarre es constante: la cadena en la zona de marea es de 15% longitud, la fibra sintética es de 75% longitud, y la cadena en el lecho marino es de 25% longitud.

Para las cadenas se definió utilizar acero grado R4 con refuerzo en los eslabones (*studlink*). Las dimensiones geométricas se tomaron del catálogo de la empresa Dai Han Anchor Chain MFG. CO., LTD. [20]. En la Tabla 2.8 se muestra un resumen de las propiedades geométricas y mecánicas del material, y en la Figura 2.13 se muestra un esquema del tipo de eslabón seleccionado.

Tabla 2.8. Propiedades de la cadena.

Propiedad	Valor	
Material	Acero grado R4	
Módulo de elasticidad	210000 MPa	
Esfuerzo de fluencia	580 MPa	
Resistencia última a la tensión	860 MPa	
Tipo de eslabón	<i>Studlink</i>	
Catálogo	DAI HAN ANCHOR CHAIN MFG. CO., LTD.[20]	
Intervalo de diámetros (D)	78 mm	124 mm
Intervalo de cargas de rupturas	6,295 KN	14,358 KN

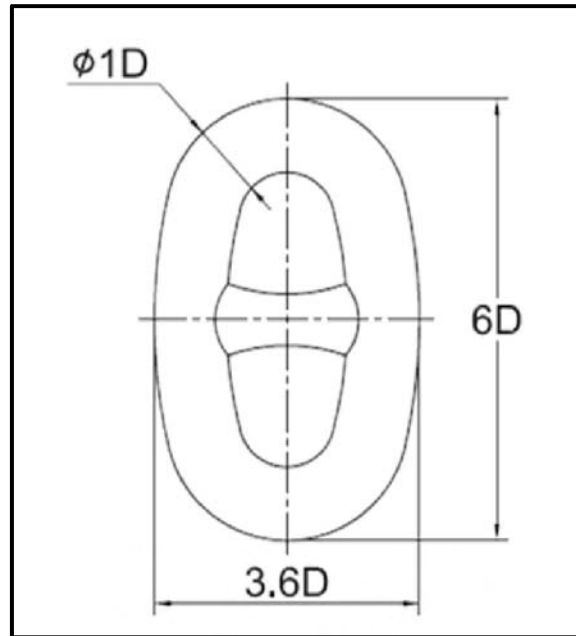


Figura 2.13. Configuración geométrica del eslabón reforzado (*studlink*).

En la parte central de la línea de amarre se utilizó cable a base de poliéster. Las características geométricas y mecánicas del cable de poliéster están contenidas en la Tabla 2.9 conforme el catálogo BRIDON SUPERLINE [21] y el manual BEXCO [22].

Tabla 2.9. Propiedades de la fibra sintética.

Propiedad	Valor	
Material	POLIÉSTER	
Módulo de elasticidad	9000 MPa [22]	
Resistencia última a la tensión	1050 MPa	
Catálogo	BRIDON SUPERLINE [21]	
Diámetro (d)	151 mm	223 mm
Carga de ruptura	6,180 KN	13,734 KN

Con base en las variables de diseño, previamente mencionadas, se determinó el número de análisis a realizar para esta investigación. En la Tabla 2.10 se muestra el número y valor de las variables de diseño utilizadas, y en la Tabla 2.11 se muestran los caracteres usados para la identificación de los casos de análisis para una mejor trazabilidad de los análisis realizados.

Tabla 2.10. Variables de análisis.

Variable	Cantidad	Descripción		
Tirantes de agua	3	1,000 m	1,500 m	2,000 m
Número de líneas por columna	2	3 líneas		4 líneas
Ángulo de salida vertical	3	45°	46.42°	47.78°
Condición	3	Intacta	Dañada 1	Dañada 2
Longitud de línea (pretensión)	3	L + 0.00 PROF	L + 0.01 PROF	L + 0.02 PROF
Combinaciones	Indicadas por el API-2INT-MET [11] para un periodo de retorno de 100 años (Tabla 2.7)			
Total	162 análisis			

Tabla 2.11. Descripción del nombre de los análisis.

Tirante de agua			Número de líneas			Ángulo de salida			Condición			Longitud de línea (pretensión)			Fibra sintética		
P	10	1,000 m	NL	3	3 líneas	AS	45	45.00°	C	I	Intacta	P	0	0.00 P	FS	P	Poliéster
	15	1,500 m					46	46.42°		D1	Dañada 1		1	0.01 P			
	20	2,000 m		4	4 líneas		47	47.78°		D2	Dañada 2		2	0.02 P			

Por ejemplo, para un modelo numérico con tirante de agua de *1,500 m*, *3 líneas* de amarre por columna, un ángulo de salida con respecto a la vertical de *47.78°*, para la condición *Dañada 1*, con una pretensión asociada a un incremento de longitud de *0.01 P* y *poliéster* como fibra sintética su descripción es P15NL3AS47CD1P1FSP.

En el diagrama de flujo de la Figura 2.14 se muestra el proceso de análisis del sistema de amarre empleado en este trabajo. Cabe mencionar que para la generación de los archivos .js, así como para el procesamiento de resultados, se desarrollaron herramientas computacionales implementadas en el programa de cómputo MATLAB.

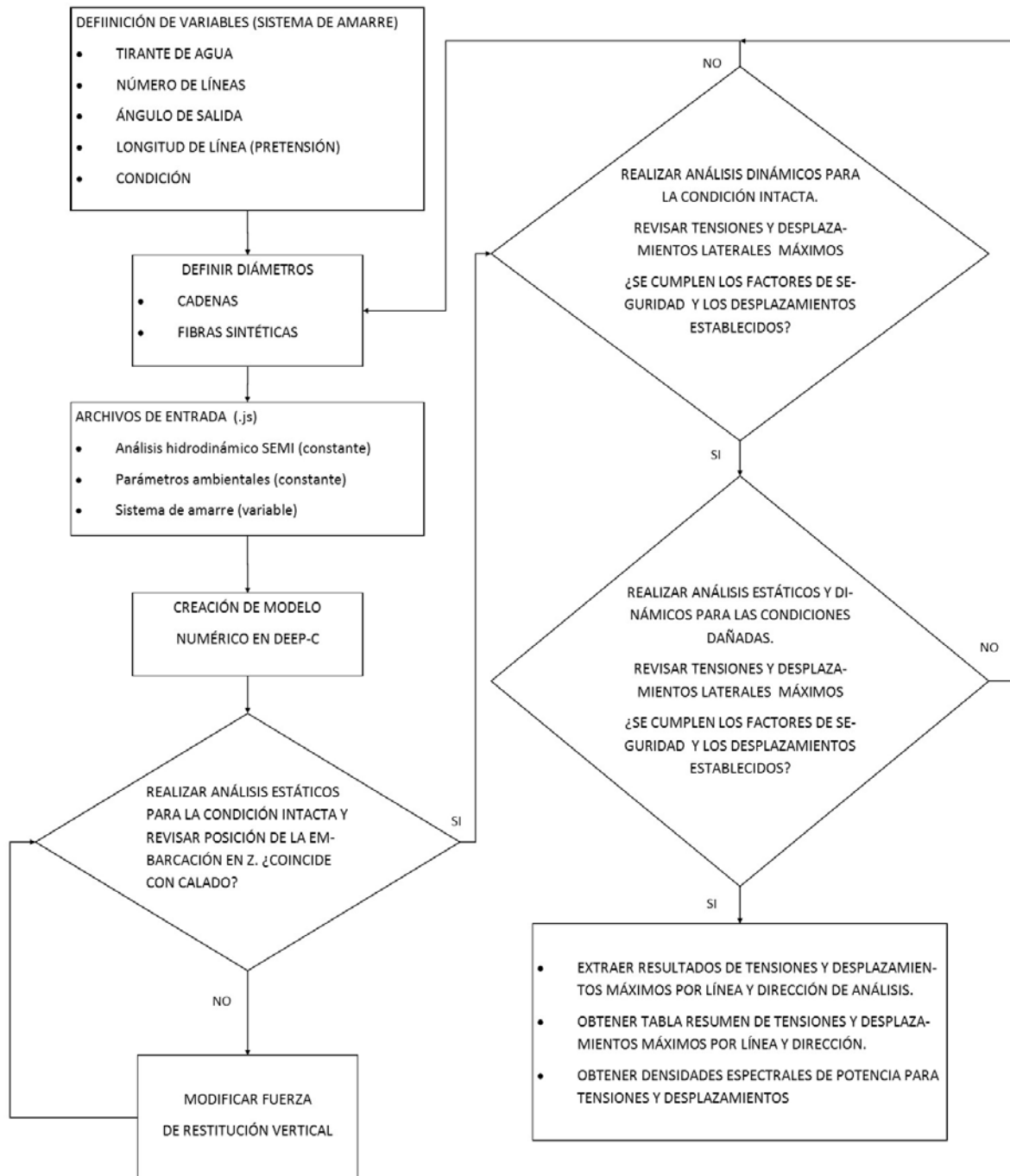


Figura 2.14. Diagrama de flujo del proceso de análisis y optimización de los sistemas de amarre.

### 3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con el diagrama de flujo mostrado en la Figura 2.14, para cada caso de estudio, primeramente, se realizaron análisis estáticos con la finalidad de encontrar la posición de equilibrio del sistema flotante de producción, posteriormente, se realizaron análisis dinámicos no lineales en el dominio del tiempo para calcular las fuerzas axiales de cada línea de amarre y desplazamientos laterales de la plataforma, después, se determinaron y se revisaron sus factores de seguridad, y finalmente se obtuvieron tablas resúmenes y densidades espectrales de potencia de desplazamientos y fuerzas de tensiones.

Debido a la gran cantidad de resultados que se generaron en este trabajo, se decidió colocar los resultados de los análisis en el ANEXO A. En este anexo se muestran las características geométricas de todos los modelos (e.g. coordenadas de los apoyos, tanto en punto de amarre en la plataforma como en el punto de anclaje en el lecho marino), propiedades de las secciones, y tablas de relaciones dinámicas-estáticas. Además, se presentan gráficas de las fuerzas axiales estáticas, fuerzas axiales dinámicas, desplazamientos dinámicos, espectros y tablas resúmenes para un caso de estudio por profundidad en su condición intacta y condiciones dañadas.

Con el objetivo de mostrar a detalle el procedimiento a seguir descrito en la Figura 2.14, solamente se muestran los resultados para el modelo descrito en la Tabla 3.1, en la condición Intacta y las condiciones dañadas.

Tabla 3.1. Descripción de las variables del modelo a desarrollar.

<b>Tirante de agua</b>	<b>Número de líneas</b>	<b>Ángulo de salida</b>	<b>Longitud extra de la línea (pretensión)</b>
1,000 m	3 líneas	45.00°	0% Tirante

En la Tabla 3.2 se muestran las coordenadas de los puntos de anclaje y de los puntos de amarre en la plataforma utilizados para este modelo. Las propiedades del material se especifican en las Tablas 2.8 y 2.9. En la Tabla 3.3 se especifican las propiedades geométricas de las líneas de amarre utilizadas para este modelo. La numeración de las líneas se indica en la Figura 2.8.



Tabla 3.2. Coordenadas de los puntos de amarre en la plataforma y punto de anclaje en el lecho marino del sistema de amarre.

Línea	Coordenadas (m)					
	Punto de amarre			Punto de anclaje		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	45.00	35.00	-19.00	796.49	665.57	-1,000.00
2	45.00	37.00	-19.00	738.67	730.67	-1,000.00
3	45.00	39.00	-19.00	675.57	790.49	-1,000.00
4	-45.00	39.00	-19.00	-675.57	790.49	-1,000.00
5	-45.00	37.00	-19.00	-738.67	730.67	-1,000.00
6	-45.00	35.00	-19.00	-796.49	665.57	-1,000.00
7	-45.00	-35.00	-19.00	-796.49	-665.57	-1,000.00
8	-45.00	-37.00	-19.00	-738.67	-730.67	-1,000.00
9	-45.00	-39.00	-19.00	-675.57	-790.49	-1,000.00
10	45.00	-39.00	-19.00	675.57	-790.49	-1,000.00
11	45.00	-37.00	-19.00	738.67	-730.67	-1,000.00
12	45.00	-35.00	-19.00	796.49	-665.57	-1,000.00

Tabla 3.3. Propiedades de la sección de las líneas de amarre.

Sección	Tipo	D (m)	MBL (KN)	Masa por unidad (kg/m)	Longitud (m)	Peso (ton)
Cadena en zona de marea (cadena FC)	Studlink	0.124	14,358	336.73	138.73	560.60
Fibra sintética (fibra)	Poliéster	0.223	13,734	48.03	1,040.51	599.75
Cadena en lecho marino (cadena SC)	Studlink	0.124	14,358	336.73	208.10	840.90

### 3.1 Condición intacta

#### 3.1.1 Análisis estático

Del análisis estático, se obtuvo el desplazamiento horizontal medio de la plataforma tipo SEMI, el cual es la resultante del avance o retroceso (X) y de la deriva (Y), así también, la fuerza axial debida a la tensión a lo largo de la línea por cada combinación de análisis. Conforme se muestra en la Tabla 3.4 los desplazamientos y giros por cada dirección, es posible observar que el desplazamiento lateral máximo se presenta en la combinación I, es decir, en una dirección de 202.5° (ver Tabla 2.7), en la cual la corriente se aplica en su totalidad (factor de 1.0).

Tabla 3.4. Desplazamientos y giros estáticos de la plataforma.

Combinación de carga	Traslación				Rotación		
	X (m)	Y (m)	Desplazamiento horizontal (m)	Z (m)	Cabeceo (deg)	Balaneo (deg)	Guiñada (deg)
Ana_A	-19.74	-0.45	19.75	0.16	-0.32	2.90	0.09
Ana_B	-20.33	-0.26	20.33	0.20	-0.30	2.95	0.08
Ana_C	-16.66	-12.21	20.65	0.23	-2.33	2.78	1.15
Ana_D	-17.73	-6.69	18.95	0.14	-1.18	2.51	0.98
Ana_E	-18.39	-6.69	19.57	0.18	-1.18	2.57	0.97
Ana_F	-9.41	-18.03	20.34	0.25	-3.07	1.52	1.16
Ana_G	-18.10	-5.87	19.02	0.14	-0.59	2.76	0.79
Ana_H	-18.57	-6.24	19.59	0.17	-0.61	2.79	0.80
Ana_I	-18.49	-9.93	20.99	0.24	-1.43	3.45	0.94
Ana_J	-12.75	-12.81	18.08	0.12	-1.89	1.77	1.09
Ana_K	-13.35	-13.04	18.66	0.15	-1.90	1.82	1.15
Ana_L	-1.80	-20.55	20.63	0.30	-3.32	0.06	0.37

En la Figura 3.1 se muestran las fuerzas de tensión para la línea 1, combinación C, la cual es la línea que presenta mayores fuerzas de tensión de todo el sistema.

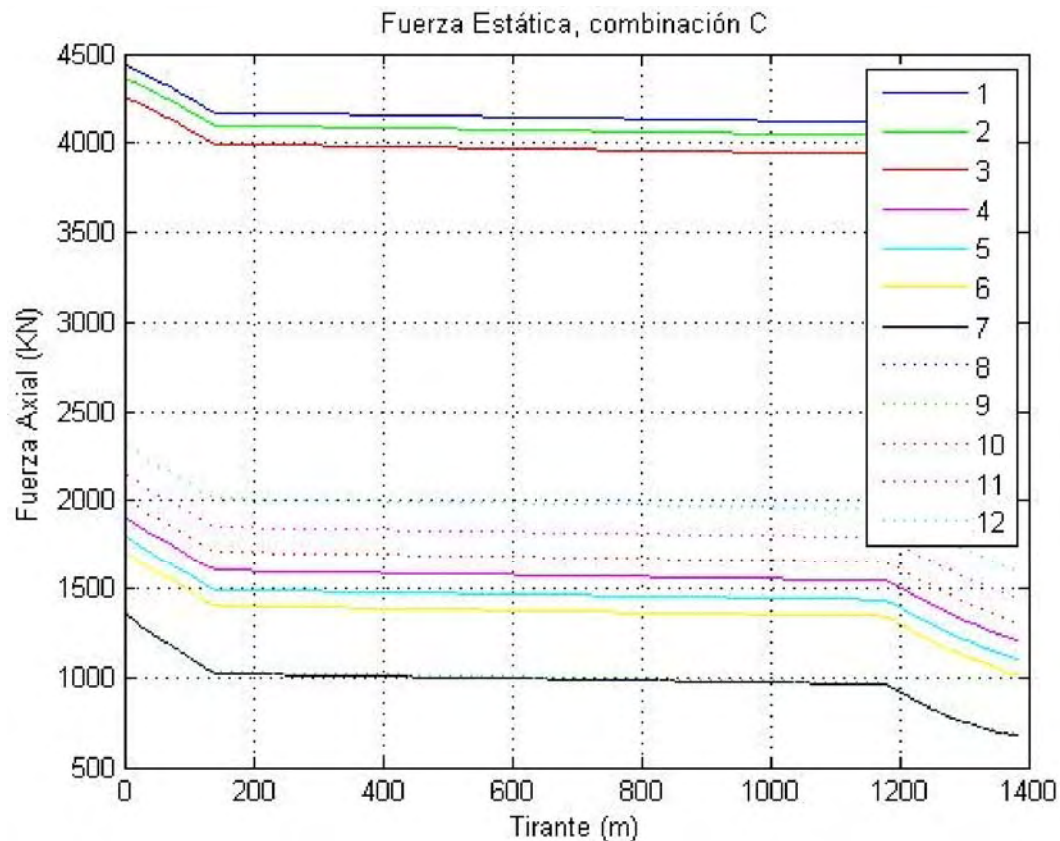


Figura 3.1. Fuerza de tensión estática combinación C.

### 3.1.2 Análisis dinámico

Se realizó un análisis dinámico en el dominio del tiempo con una duración de 3h, el cual considera las fuerzas de bajas frecuencias, en las frecuencias de oleaje y las debidas a corriente y viento. De este análisis dinámico se obtuvieron series temporales de desplazamientos y de las fuerzas de tensiones en las líneas de amarre por condición de análisis.

Es posible observar en la Figura 3.2 que los mayores desplazamientos se presentaron para las combinaciones A, B y D, entre el intervalo de 7400 a 9000 segundos, alcanzando un valor máximo de 39.23 m.

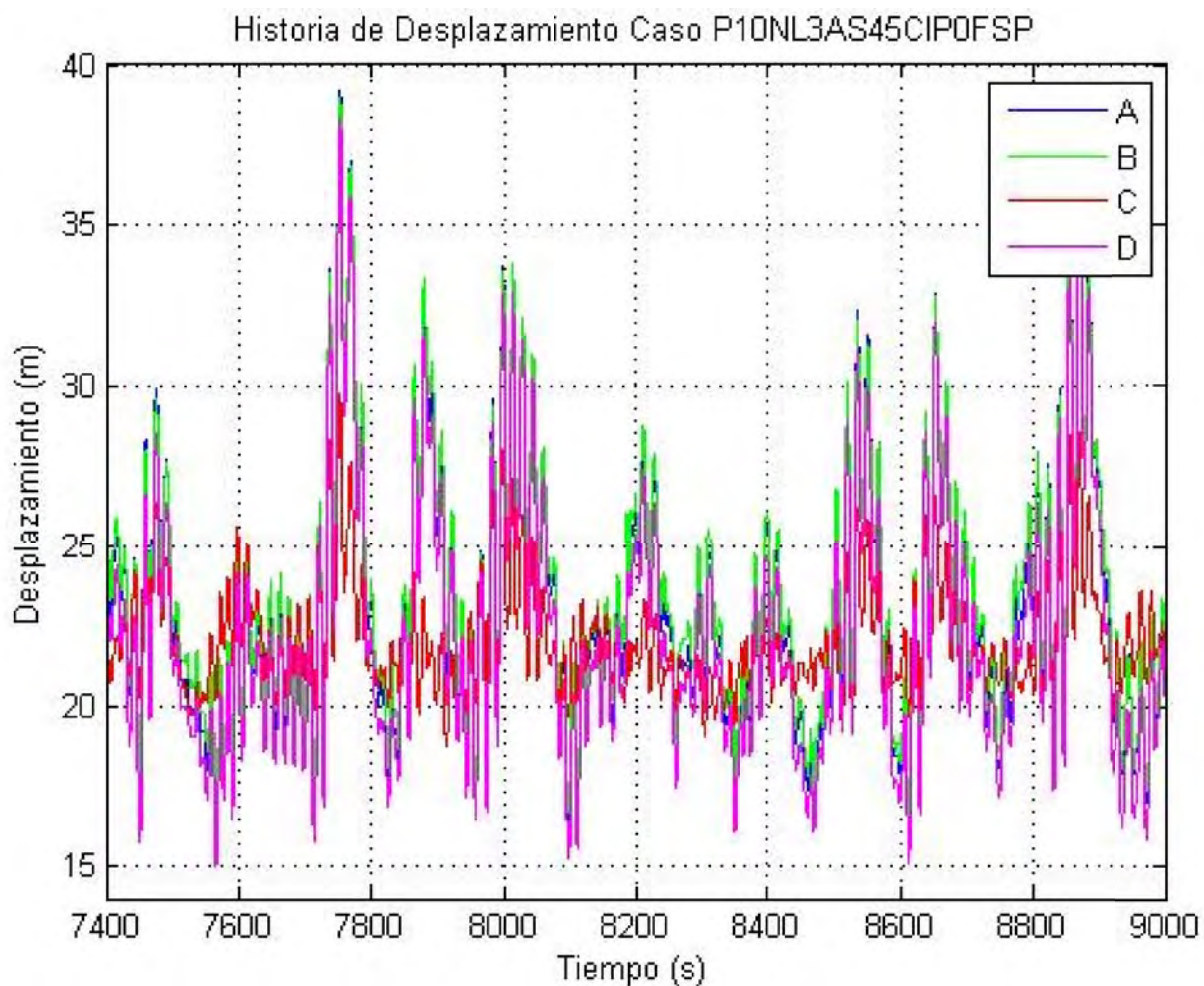


Figura 3.2. Historia de desplazamiento, combinaciones A, B, C y D.

De las series temporales de desplazamientos dinámicos se obtuvieron las densidades espectrales de potencia, los cuales se muestran en la Figura 3.3. Se observa que el periodo

de desplazamientos para bajas frecuencias es de 409.7 segundos, mientras que el periodo para frecuencias de oleaje está entre 15.17 y 15.75 segundos.

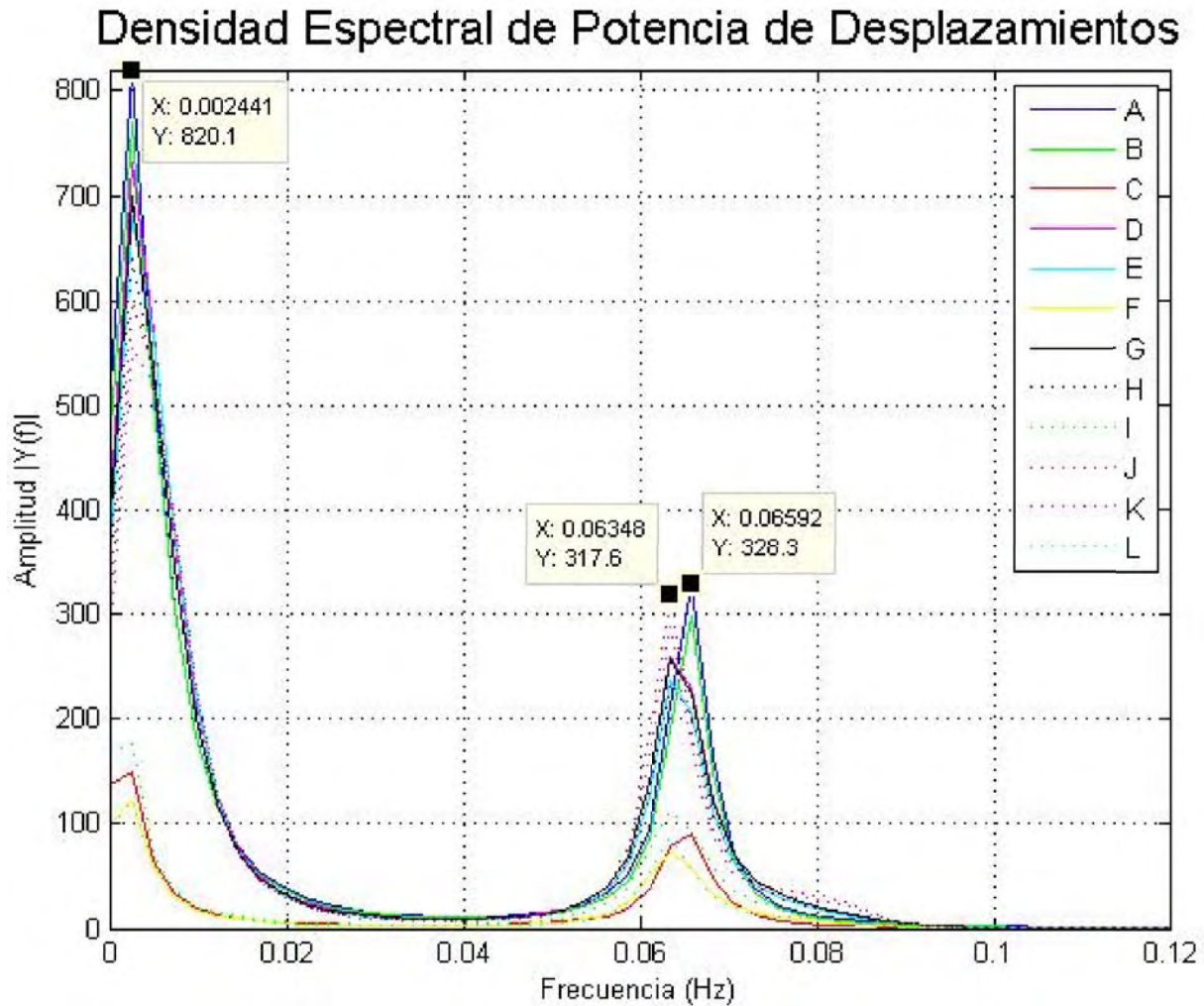


Figura 3.3. Densidad espectral de potencia de desplazamientos.

En la Figura 3.4 se muestran las fuerzas de tensiones para la combinación J, la cual es una dirección colineal al grupo de las líneas de amarre 1, 2 y 3, cuando el oleaje se aplica al 100%. También se observa que las máximas fuerzas de tensiones, las cuales fueron medidas en la cadena en el punto de amarre con la plataforma, se presentan en la línea 1 seguida de la línea 2.



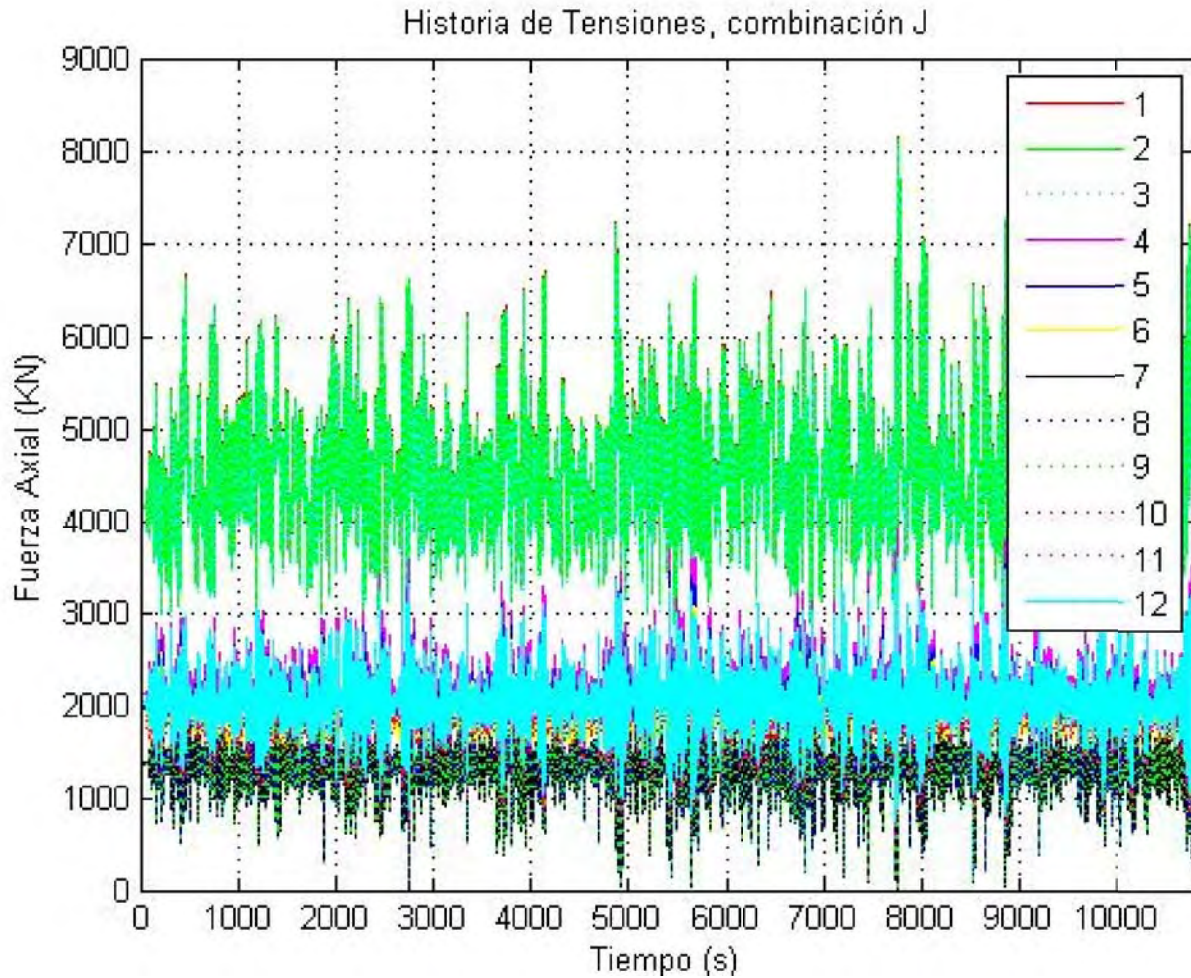


Figura 3.4. Fuerzas de tensión para la combinación J

En las Figuras 3.5 y 3.6 se muestran las densidades espectrales de potencia de las fuerzas de tensión para la línea 1 y línea 2, respectivamente, para todas las combinaciones de análisis. Se observa que las fuerzas de tensión máximas (amplitudes máximas de las densidades espectrales de potencia) se presentan, principalmente, en bajas frecuencias para las líneas 1 y 2 en la dirección de 225° (combinaciones J y K cuando el viento o el oleaje se aplican al 100%).

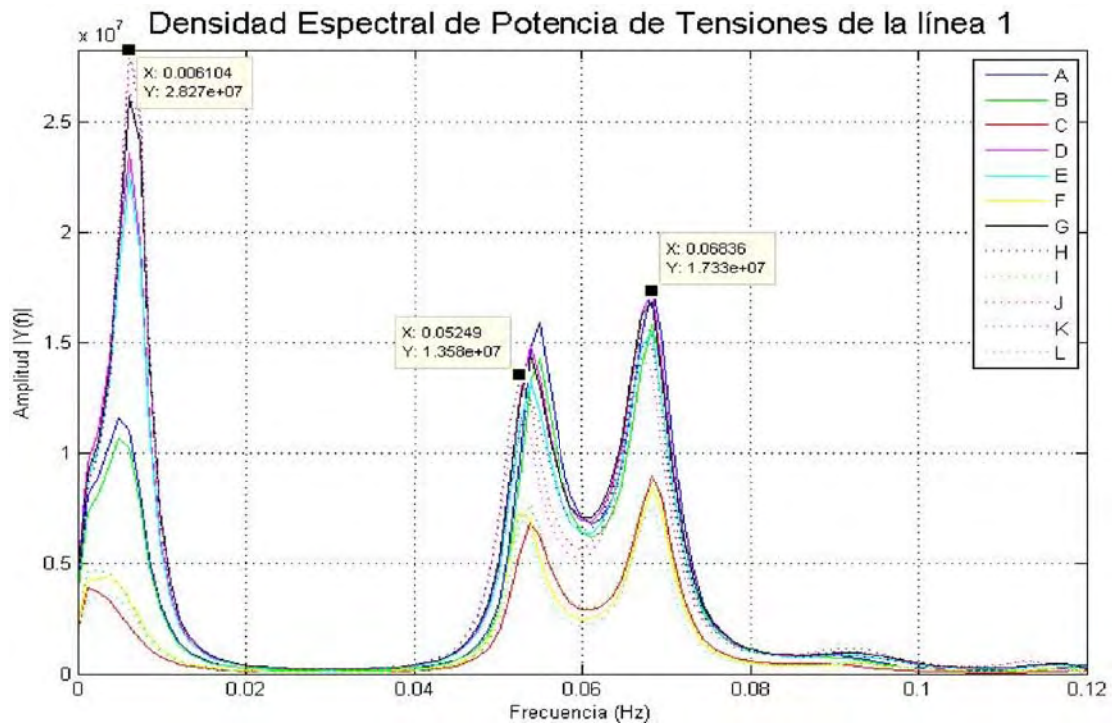


Figura 3.5. Densidad espectral de potencia de fuerzas de tensión para la línea 1.

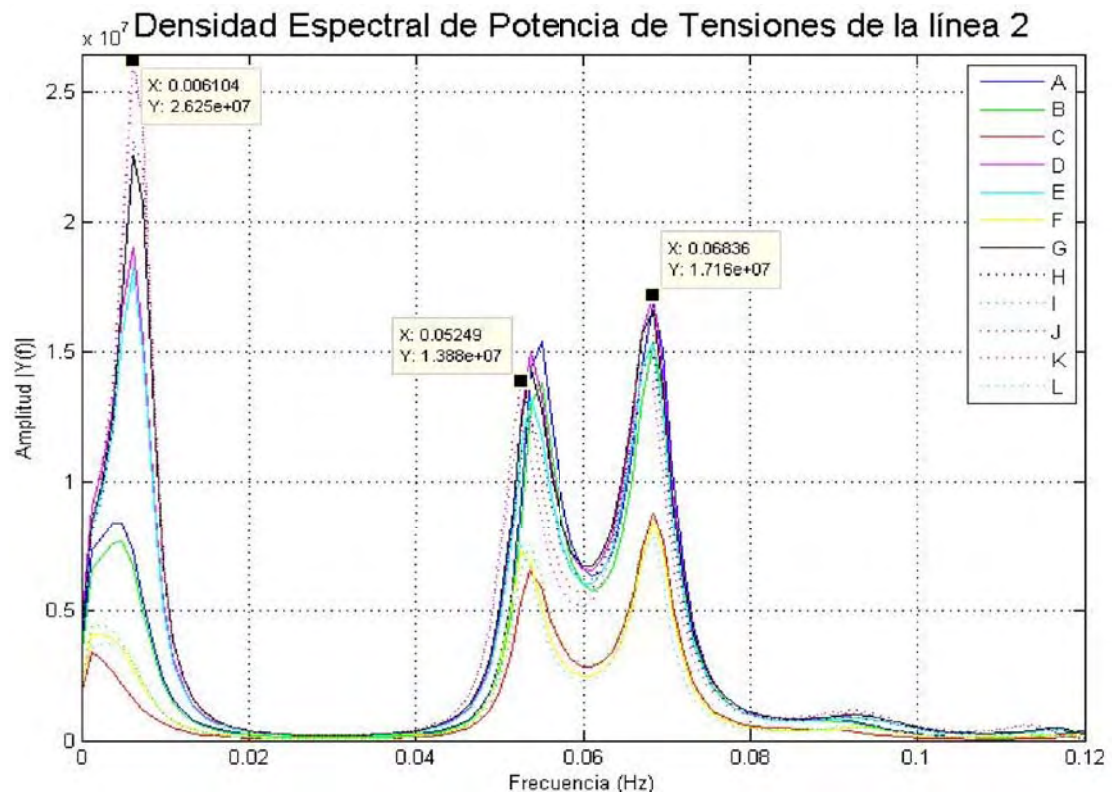


Figura 3.6. Densidad espectral de potencia de fuerzas de tensión para la línea 2.

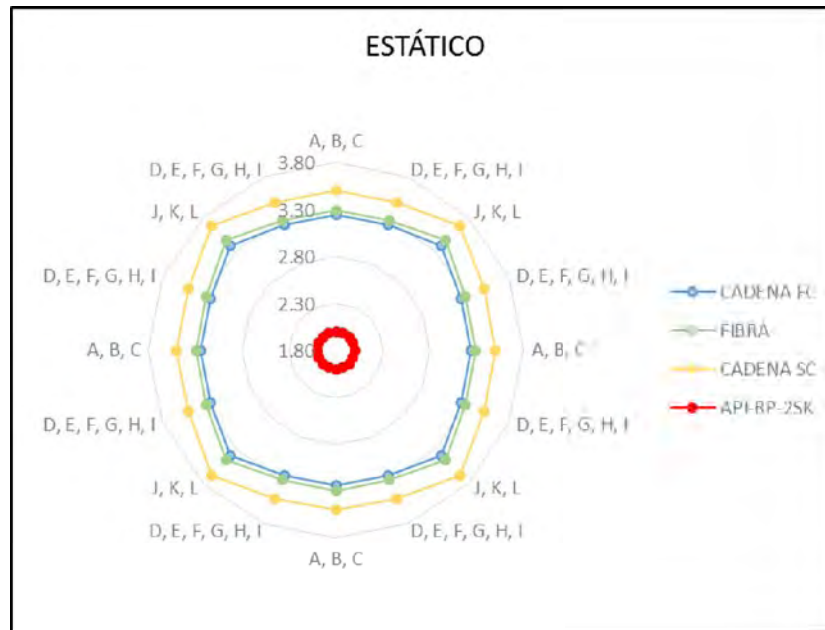
### 3.1.3 Factores de seguridad

En la Tabla 3.5 se muestra un resumen de las fuerzas de tensión y desplazamientos máximos de la plataforma por combinación de análisis para las condiciones estáticas y dinámicas. Como se indicó previamente, las fuerzas de tensión estáticas máximas se presentan en la combinación C, mientras que las fuerzas de tensión dinámicas máximas se presentan en la combinación J. En el caso de los máximos desplazamientos, se presentan en las combinaciones I y A para los análisis estáticos y dinámicos, respectivamente.

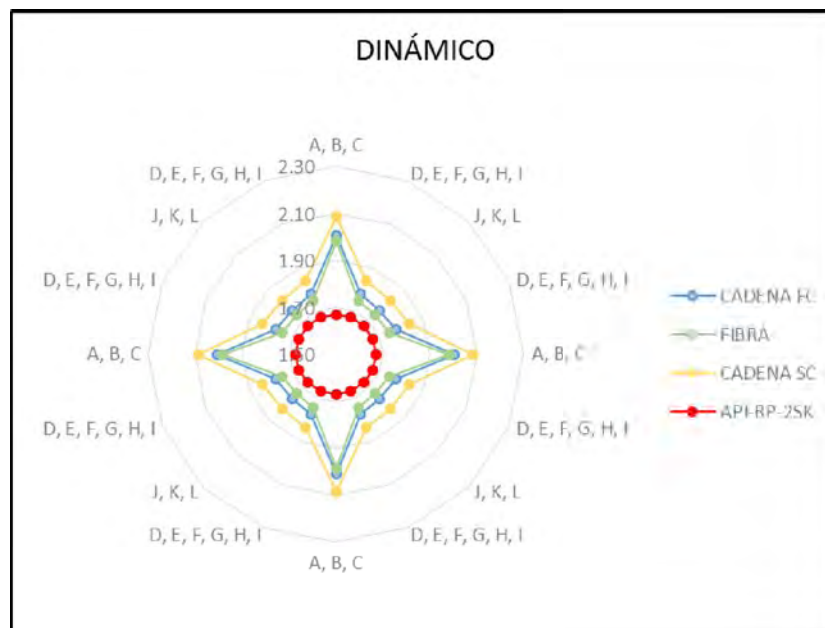
Tabla 3.5. Fuerzas de tensión y desplazamientos máximos por combinación.

Sección	Fuerza axial y desplazamiento máximos por combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Estático												
Cadena FC	3641.6	3707.3	4430.5	4079.5	4168.9	4304.4	4067.9	4176.5	4424.0	4134.7	4243.1	3925.4
Fibra	3368.5	3428.3	4172.0	3810.7	3900.5	4043.0	3795.4	3904.5	4164.2	3864.7	3973.5	3654.6
Cadena SC	3301.3	3361.1	4105.0	3743.6	3833.4	3976.0	3728.3	3837.4	4097.2	3797.6	3906.5	3587.4
Desplazamiento	19.75	20.33	20.65	18.95	19.57	20.34	19.02	19.59	20.99	18.08	18.66	20.63
Dinámico												
Cadena FC	7154.2	7046.2	6554.1	8082.0	8008.0	6422.9	8048.1	8016.0	6781.6	8135.1	8089.9	6000.3
Fibra	6924.6	6807.0	6325.6	7857.0	7782.7	6194.3	7819.2	7786.8	6560.2	7909.0	7863.3	5759.7
Cadena SC	6881.1	6762.3	6275.1	7813.1	7739.9	6145.7	7775.3	7743.8	6510.8	7864.9	7818.4	5710.9
Desplazamiento	39.23	38.97	29.78	38.37	38.24	29.22	38.44	38.25	31.92	37.10	36.97	29.56

Se calcularon los factores de seguridad (FS) con base en el API-RP-2SK [6]. Un sistema de amarre se considera como seguro, de acuerdo con el API, siempre que el factor de seguridad sea menor a 2.0 para el análisis estático, y 1.67 para el análisis dinámico. Se procuró que el mínimo factor de seguridad dinámico no fuese mayor a un 12% de lo que recomienda la norma. Debido a que la plataforma cuenta con dos ejes de simetría, no es necesario revisar todas las combinaciones. Los factores de seguridad mínimos obtenidos por dirección se representan en la Figura 3.7. La línea roja representa el factor de seguridad mínimo indicado por el API-RP-2SK [6], mientras que la cadena en zona de mareas (cadena FC), fibra sintética y cadena en el lecho marino (cadena SC) se representan por la línea azul, verde y amarilla, respectivamente.



(A) Estático



(B) Dinámico

Figura 3.7. Factores de seguridad para fuerzas de tensión en las líneas de amarre por combinación.

En la Tabla 3.6 se hace un resumen de los factores de seguridad mínimos y una revisión de los desplazamientos horizontales de la plataforma, respectivamente. Para este caso de estudio se propuso un desplazamiento horizontal permisible de la plataforma del 6% del tirante de agua.



Tabla 3.6. Factores de seguridad mínimos evaluados con base en el API, y revisión de desplazamientos horizontales.

Sección	Análisis estático					Análisis dinámico				
	Carga máxima	Combinación	Línea	FS Mínimo 2.0		Carga máxima	Combinación	Línea	FS Mínimo 1.67	
Cadena FC	4430.5	C (180°)	1	3.24	OK	8135.1	J (225°)	1	1.76	OK
Fibra	4172.0	C (180°)	1	3.29	OK	7909.0	J (225°)	1	1.74	OK
Cadena SC	4105.0	C (180°)	1	3.50	OK	7864.9	J (225°)	1	1.83	OK
SEMISUMERGIBLE	Comb.	Desp. Hor. (m)	6% tirante			Comb	Desp. Hor. (m)	6% tirante		
	I	20.99	60 m	CUMPLE		J	39.23	60 m	CUMPLE	

### 3.1.4 Relaciones de fuerzas de tensión y desplazamientos

Con el fin de reducir el tiempo y recursos computacionales en proyectos futuros, se calcularon y se analizaron las relaciones dinámicas-estáticas de las fuerzas de tensión en las líneas de amarre y de los desplazamientos de la plataforma. Para este análisis se consideró la combinación J, la cual, en lo general, es la combinación de carga más desfavorable para los resultados dinámicos. Específicamente, para las fuerzas de tensión se considerarán las líneas 1 o 2. En la Tabla 3.7 se muestran las relaciones de las fuerzas de tensión (en la cadena en el punto de amarre con la plataforma) y de los desplazamientos dinámicos con los estáticos para el modelo P10NL3AS45CIP0FSP.

Tabla 3.7. Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos, caso P10NL3AS45CIP0FSP

Sección	Línea	Combinación J
Cadena FC	1	1.97
	2	1.98
Fibra	1	2.05
	2	2.05
Cadena SC	1	2.07
	2	2.07
Desplazamiento horizontal		2.05

### 3.2 Condiciones dañadas

De acuerdo con el API-RP-2SK [6], se deben analizar condiciones con daño en alguna de las líneas de amarre debido a algún evento extraordinario, para ello fueron considerados dos escenarios, la condición dañada 1 que es cuando se ha perdido la línea con mayor fuerza de

tensión, y la condición dañada 2, cuando se ha perdido la segunda línea con mayor fuerza de tensión. El API considera factores de seguridad menores; sin embargo, recomienda que se sustituya dicha línea lo antes posible para evitar el sobreesfuerzo y pérdida de una segunda línea. La condición que ocurre entre la pérdida de la línea y el nuevo equilibrio es una condición transitoria. Para efectos de esta investigación no se analizará dicha condición.

Para estas dos condiciones dañadas, se realizó el mismo procesamiento de resultados como en el caso de la condición intacta. Se obtuvieron desplazamientos y fuerzas de tensión de los análisis estáticos, así como series temporales de desplazamientos y fuerzas de tensión de los análisis dinámicos. En el ANEXO A se encuentran a mayor detalle gráficas y tablas de dichas condiciones.

### 3.2.1 Análisis estático

En las Tablas 3.8 y 3.9 se muestran los desplazamientos y giros estáticos para la condición dañada 1 (P10NL3AS45CD1P0FSP) y para la condición dañada 2 (P10NL3AS45CD2P0FSP), respectivamente. Se observa que los máximos desplazamientos se presentan en la condición dañada 1, es decir, cuando se pierde la línea 1, la cual es la línea más tensada en la condición intacta.

Tabla 3.8. Desplazamientos y giros estáticos de la plataforma, P10NL3AS45CD1P0FSP.

Combinación de carga	Traslación				Rotación		
	X (m)	Y (m)	Desplazamiento horizontal (m)	Z (m)	Cabeceo (deg)	Balaceo (deg)	Guiñada (deg)
Ana_A	-24.56	-4.71	25.01	0.02	-0.11	2.78	0.51
Ana_B	-25.21	-4.58	25.62	-0.02	-0.10	2.82	0.50
Ana_C	-22.77	-16.96	28.39	-0.05	-2.10	2.68	1.71
Ana_D	-23.23	-11.28	25.82	0.04	-0.97	2.40	1.51
Ana_E	-24.00	-11.39	26.57	-0.00	-0.96	2.46	1.51
Ana_F	-15.37	-22.28	27.07	-0.05	-2.85	1.42	1.73
Ana_G	-23.56	-10.46	25.78	0.04	-0.38	2.64	1.31
Ana_H	-24.18	-10.96	26.55	0.00	-0.40	2.68	1.34
Ana_I	-24.52	-14.78	28.63	-0.07	-1.20	3.34	1.50
Ana_J	-18.59	-17.17	25.30	0.07	-1.67	1.66	1.64
Ana_K	-19.34	-17.52	26.09	0.15	-1.68	1.71	1.71
Ana_L	-6.75	-24.14	25.06	0.30	-3.11	-0.07	0.82

Tabla 3.9. Desplazamientos y giros estáticos de la plataforma, P10NL3AS45CD2P0FSP.

Combinación	Traslación				Rotación		
	X (m)	Y (m)	Desplazamiento horizontal (m)	Z (m)	Cabeceo (deg)	Balanceo (deg)	Guiñada (deg)
Ana_A	-23.71	-4.80	24.19	0.04	-0.13	2.68	-0.04
Ana_B	-24.34	-4.66	24.78	-0.00	-0.12	2.73	-0.04
Ana_C	-21.84	-17.57	28.03	-0.04	-2.14	2.55	1.00
Ana_D	-22.34	-11.63	25.19	0.06	-1.00	2.30	0.86
Ana_E	-23.10	-11.73	25.91	0.02	-0.99	2.35	0.86
Ana_F	-14.65	-23.04	27.31	-0.06	-2.88	1.30	0.96
Ana_G	-22.68	-10.80	25.12	0.06	-0.41	2.54	0.66
Ana_H	-23.28	-11.31	25.88	0.02	-0.43	2.57	0.68
Ana_I	-23.55	-15.29	28.07	-0.05	-1.25	3.22	0.80
Ana_J	-17.75	-17.84	25.17	0.07	-1.70	1.55	0.91
Ana_K	-18.48	-18.20	25.94	0.04	-1.72	1.60	0.98
Ana_L	-6.45	-24.90	25.72	-0.10	-3.13	-0.16	0.15

En las Figuras 3.8 y 3.9 se muestran las tensiones a lo largo de las líneas de amarre para la combinación de análisis C, la cual es la más desfavorable de las combinaciones, para la condición dañada 1 y condición dañada 2, respectivamente. Se observa que las máximas fuerzas de tensión se presentan en la condición dañada 2, cuando se ha perdido la línea 2.

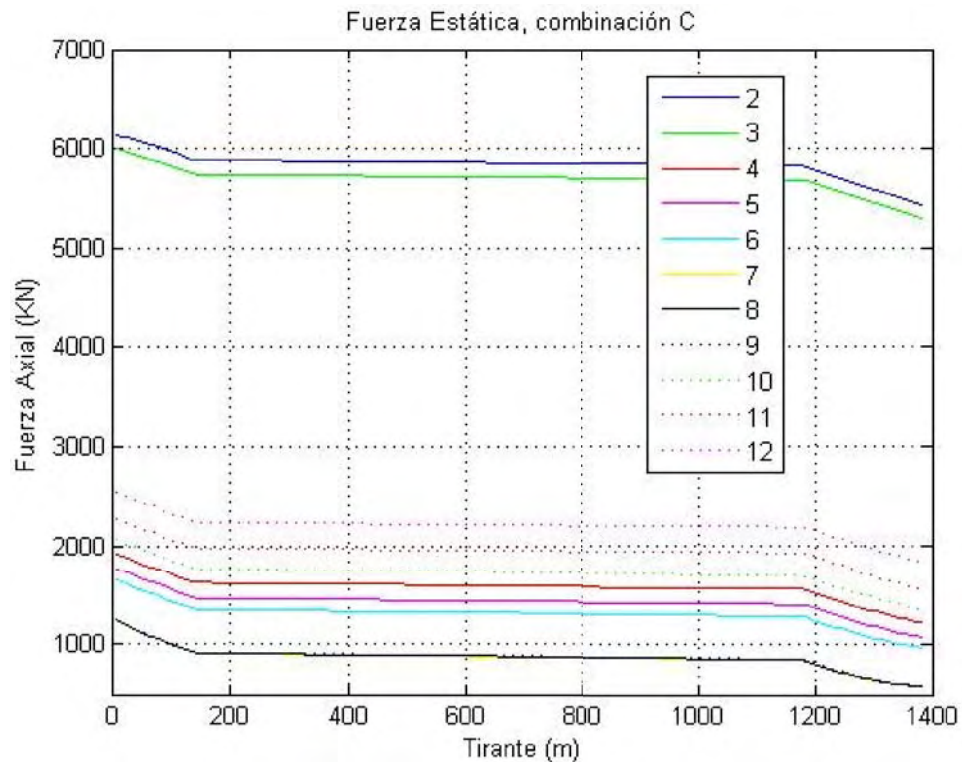


Figura 3.8. Fuerza de tensión estática, combinación C, caso P10NL3AS45CD1P0FSP

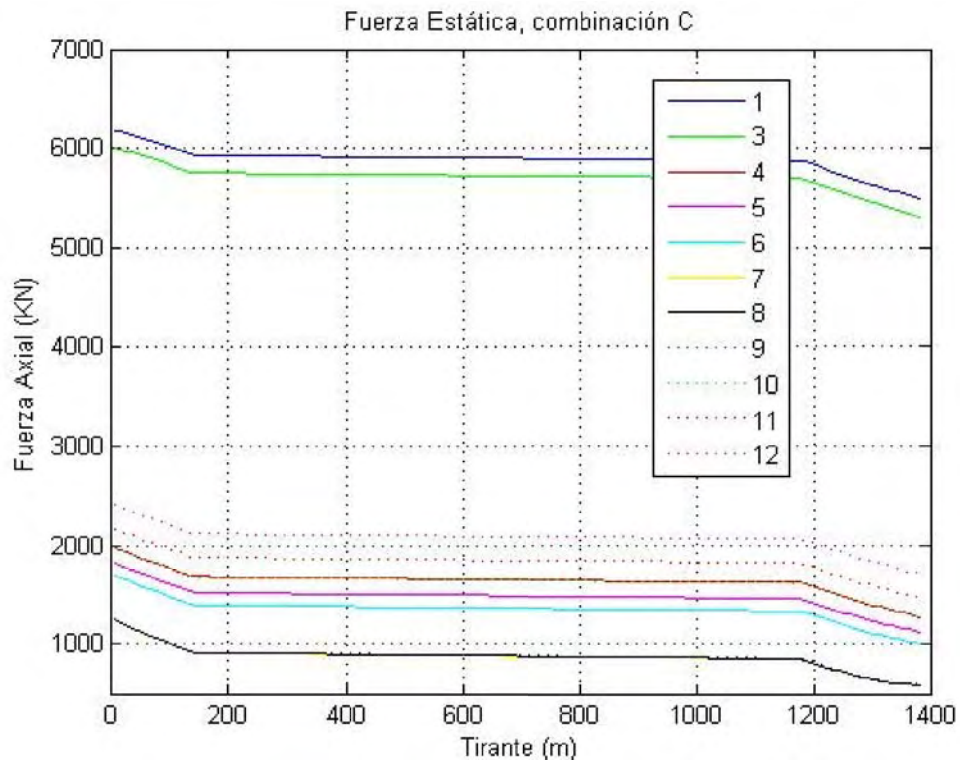


Figura 3.9 Fuerza de tensión estática, combinación C, caso P10NL3AS45CD2P0FSP

### 3.2.2 Análisis dinámico

En las Figuras 3.10 y 3.11 se muestra un resumen de las series temporales de desplazamientos para las combinaciones de análisis A, B, C y D, entre los 7,400 y 9,000 segundos, el cual es el intervalo de tiempo donde se presentan los máximos desplazamientos. Se observa que los máximos desplazamientos se presentan en la combinación de análisis D

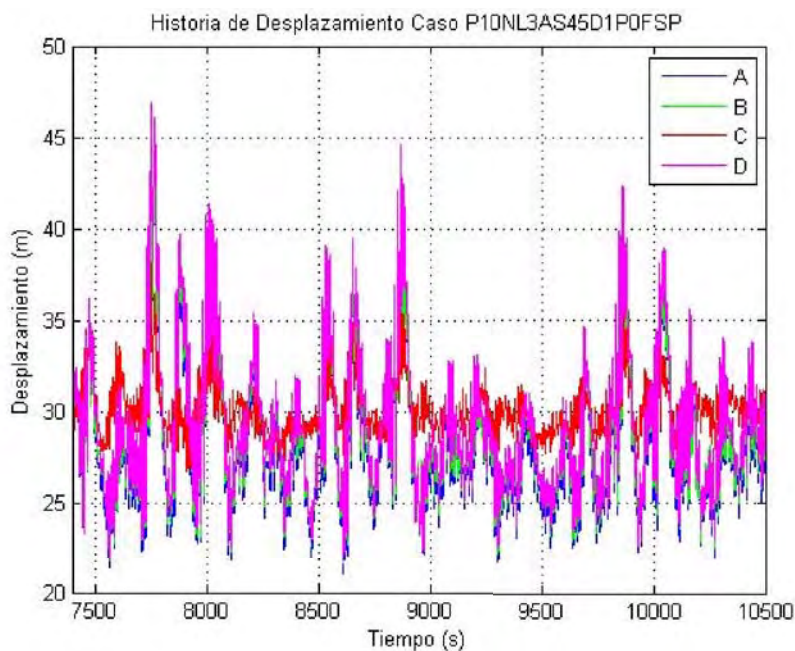


Figura 3.10. Historia de desplazamiento lateral, combinaciones A, B, C y D, P10NL3AS45CD1P0FSP.

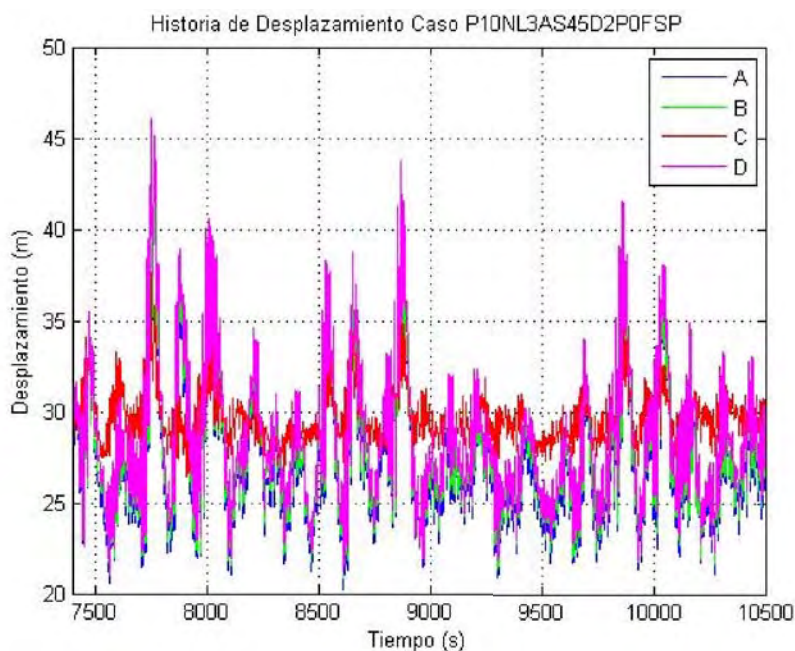


Figura 3.11. Historia de desplazamiento lateral, combinaciones A, B, C y D, P10NL3AS45CD2P0FSP.

Las Figuras 3.12 y 3.13 muestran los espectros de respuestas de las series temporales de desplazamientos. Se observa que las bajas frecuencias y frecuencias de oleaje no se modifican en comparación con la condición intacta. Es decir, la respuesta dinámica de la embarcación permanece casi constante cuando hay una modificación en la configuración del sistema de amarre.

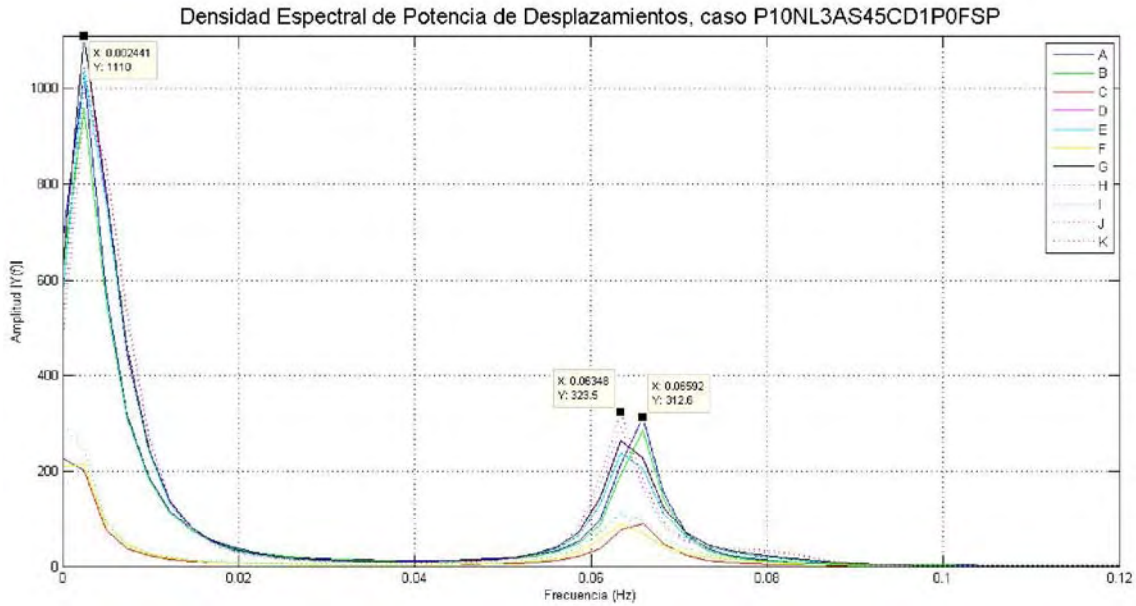


Figura 3.12. Densidad espectral de potencia de desplazamientos laterales, P10NL3AS45CD1P0FSP.

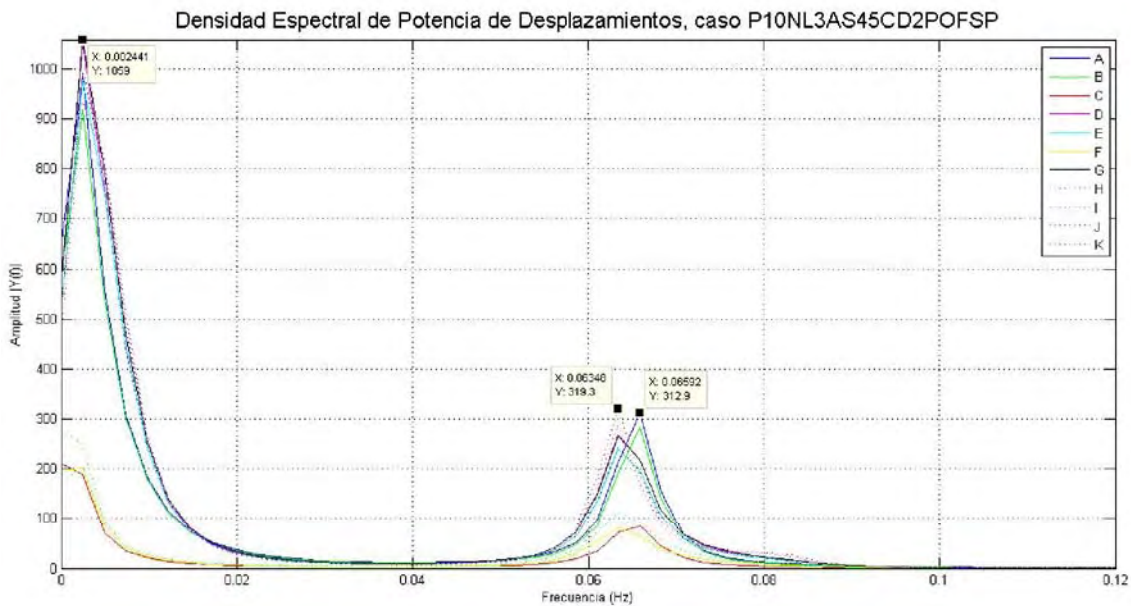


Figura 3.13. Densidad espectral de potencia de desplazamientos laterales, P10NL3AS45CD2P0FSP.



En las Figuras 3.14 y 3.15 se muestran las fuerzas de tensiones en la combinación J, para las condiciones dañada 1 y dañada 2, respectivamente, se observa que las máximas fuerzas de tensiones se presentan en la línea 1 o la línea 2, de acuerdo con la condición dañada.

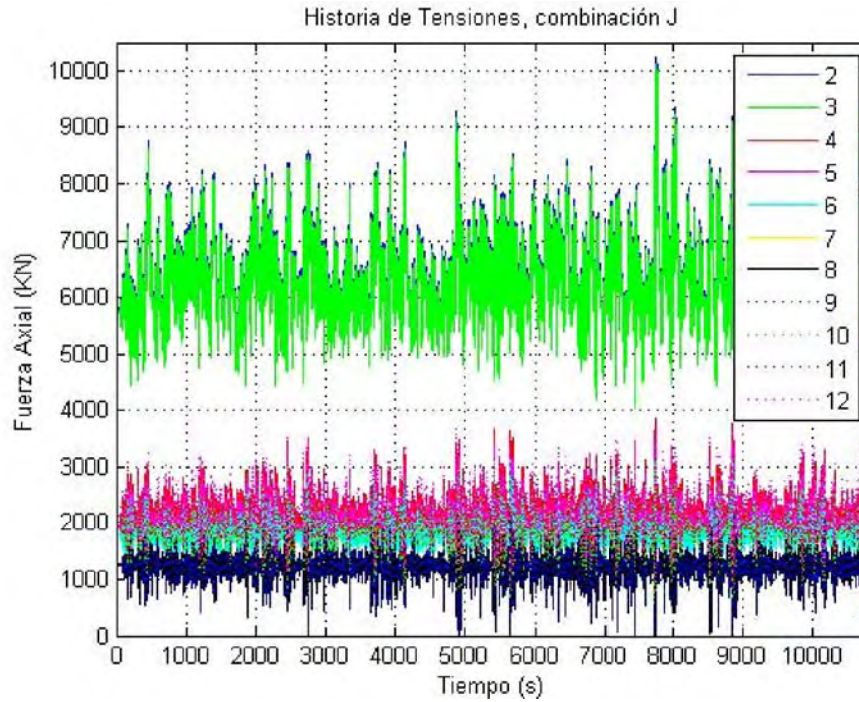


Figura 3.14. Fuerzas de tensión para la combinación J, P10NL3AS45CD1P0FSP.

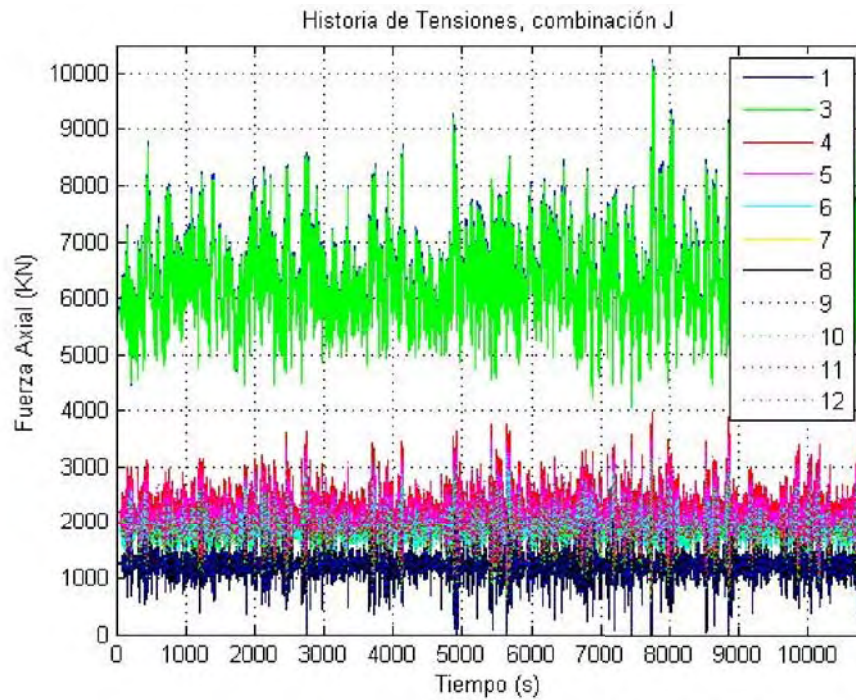


Figura 3.15. Fuerzas de tensión para la combinación J, P10NL3AS45CD2P0FSP.

En las Figuras 3.16 y 3.17 se observan los espectros de respuesta de las fuerzas de tensión para la línea 2 (P10NL3AS45CD1P0FSP) y línea 1 (P10NL3AS45CD2P0FSP), respectivamente. Se observa que la respuesta dinámica permanece constante en comparativa con la condición intacta.

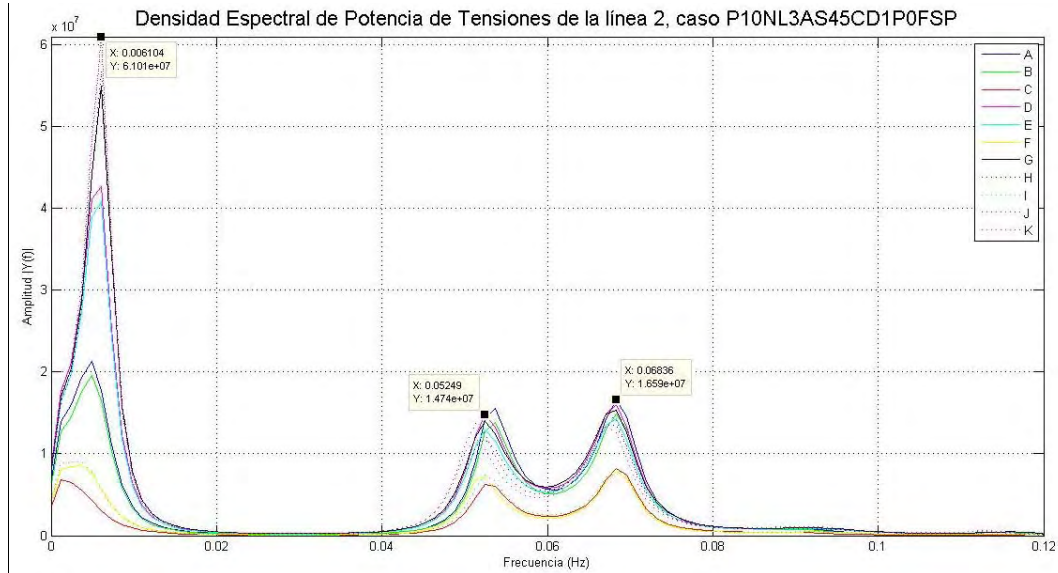


Figura 3.16. Densidad espectral de potencia de fuerzas de tensión para la línea 2, P10NL3AS45CD1P0FSP.

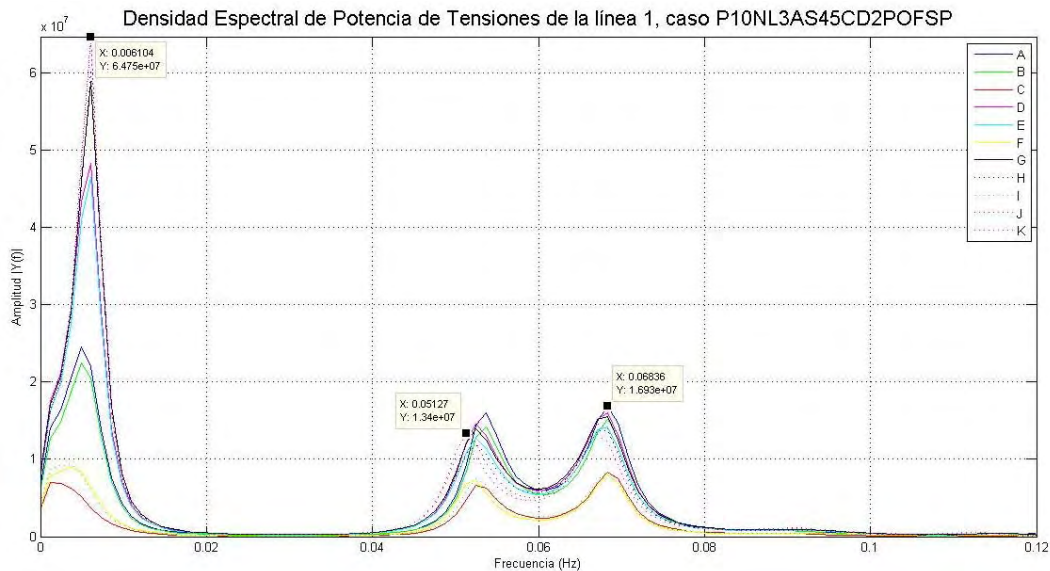


Figura 3.17. Densidad espectral de potencia de fuerzas de tensión para la línea 1, P10NL3AS45CD2P0FSP.



### 3.2.3 Factores de seguridad

De acuerdo con los requisitos establecidos en la normatividad y como se indica en la Tabla 2.3, los factores de seguridad para la condición dañada son diferentes. Para los análisis estáticos deben ser mayores a 1.43, y para los análisis dinámicos deben ser mayores a 1.25.

En las Tablas 3.10 y 3.11 se resumen los factores de seguridad mínimos y desplazamientos máximos para la condición intacta y condiciones dañadas, respectivamente. Se observa un decremento del factor de seguridad del orden de 30% para los análisis estáticos y de 21% para los análisis dinámicos de las condiciones dañadas con respecto a la condición intacta. Mientras que para los desplazamientos se observa un incremento del orden del 24%.

Tabla 3.10. Factores de seguridad mínimos.

Condición	Sección	Análisis estático					Análisis dinámico				
		Carga máxima	Comb	Línea	FS Mínimo 1.43		Carga máxima	Comb	Línea	FS Mínimo 1.25	
Dañada 1	Cadena FC	6138.20	C (180°)	2	2.34	ok	10245.00	J (225°)	2	1.40	ok
	Fibra	5886.40	C (180°)	2	2.33	ok	10020.00	J (225°)	2	1.37	ok
	Cadena SC	5819.80	C (180°)	2	2.47	ok	9974.50	J (225°)	2	1.44	ok
Dañada 2	Cadena FC	6180.50	C (180°)	1	2.32	ok	10251.00	J (225°)	1	1.40	ok
	Fibra	5928.30	C (180°)	1	2.32	ok	10024.00	J (225°)	1	1.37	ok
	Cadena SC	5861.70	C (180°)	1	2.45	ok	9979.10	J (225°)	1	1.44	ok

Tabla 3.11. Revisión de desplazamientos.

Condición	Comb	Desplazamiento horizontal (m)	6% tirante		Comb	Desplazamiento horizontal (m)	6% tirante	
Dañada 1	I	28.63	60 m	cumple	D	46.88	60 m	cumple
Dañada 2	I	28.07	60 m	cumple	D	46.11	60 m	cumple

### 3.2.4 Relaciones de fuerzas de tensión y desplazamientos

En la Tabla 3.12 se muestran las relaciones de las fuerzas de tensión y de desplazamientos dinámicos con los estáticos para los modelos P10NL3AS45CD1P0FSP y P10NL3AS45CD2P0FSP, se tomarán los mismos valores de las relaciones dinámicas-estáticas para la misma combinación y líneas en la condición intacta, es decir, combinación J y líneas 1 y 2.

Tabla 3.12. Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos, P10NL3AS45CD1P0FSP y P10NL3AS45CD2P0FSP.

Sección	P10NL3AS45CD1P0FSP		P10NL3AS45CD2P0FSP	
	Línea	Combinación J	Línea	Combinación J
Cadena FC	1	1.77	2	1.77
Fibra	1	1.82	2	1.82
Cadena SC	1	1.83	2	1.83
Desplazamiento horizontal	1.83		1.83	

En la Tabla 3.13 se resumen las relaciones de incremento de fuerzas de tensión y desplazamientos estáticos a dinámicos, tanto para la condición intacta (Tabla 3.7) como las condiciones dañadas (Tabla 3.12).

Tabla 3.13. Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos.

Condición	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	Desplazamiento horizontal
Intacta	1.97	2.05	2.07	2.05
Dañada 1	1.77	1.82	1.82	1.83
Dañada 2	1.77	1.82	1.83	1.83

### 3.3 Casos de estudio

Al igual que el caso de estudio mostrado previamente, se realizaron los análisis para todos los casos de estudios definidos en el alcance de esta investigación. Estos resultados se resumen en los siguientes apartados agrupados por tirante de agua de estudio.

En el ANEXO A se muestran tablas con las dimensiones de las secciones y relaciones dinámicas-estáticas de las fuerzas de tensión y desplazamientos para cada caso de estudio. Los factores de seguridad mínimos y una revisión de desplazamientos horizontal de la plataforma de acuerdo con dos límites propuestos, 6% y 8% se muestran a continuación. Al final, se realiza un análisis de las relaciones dinámicas-estáticas de las fuerzas de tensión y desplazamientos.

#### 3.3.1 Caso de estudio 1: 1,000 m de tirante de agua.

En las Figuras 3.18 y 3.19 se muestran los factores de seguridad mínimos de cada modelo. Como se planteó desde el inicio, todos los análisis cumplen los factores de seguridad que

marca el API-RP-2SK [6]. Sin embargo, se observa que en las condiciones dañadas al emplearse cuatro líneas por columnas hay un incremento en los factores de seguridad tanto en los análisis estáticos como en los dinámicos, es decir, hay mayor redundancia al aumentarse la cantidad de líneas por columna.

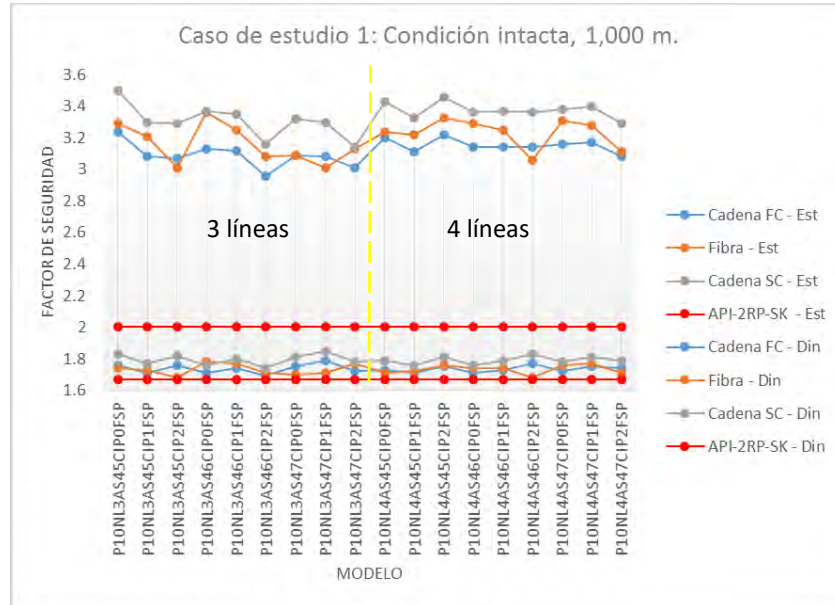


Figura 3.18. Factores de seguridad, caso de estudio 1: 1,000 m, condiciones intactas.

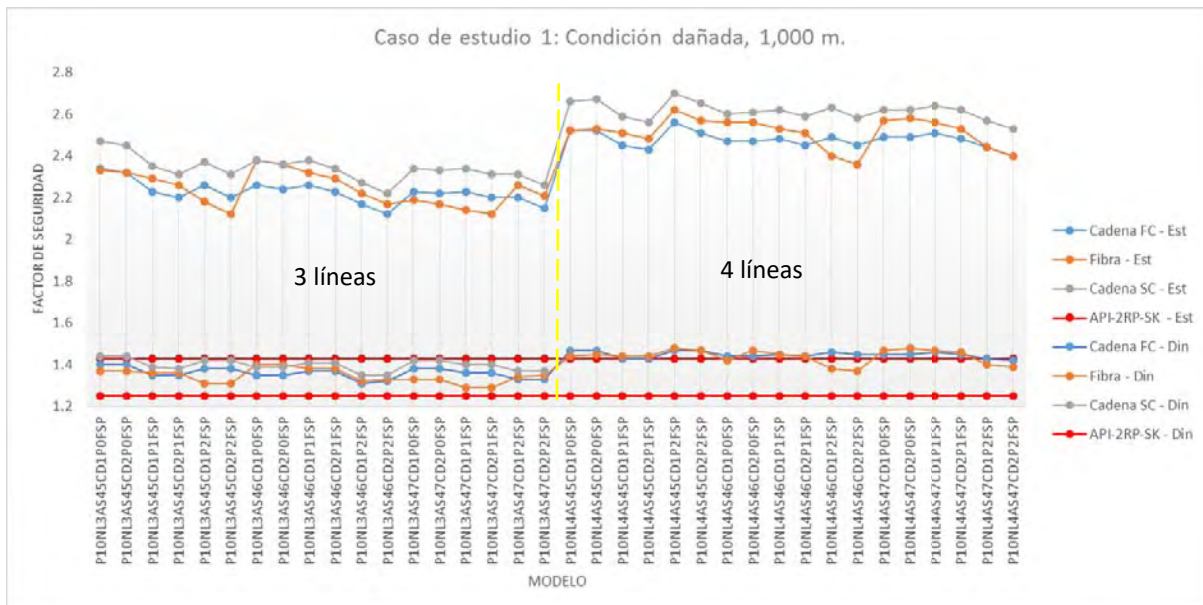


Figura 3.19. Factores de seguridad, caso de estudio 1: 1,000 m, condiciones dañadas.

En las Figuras 3.20 y 3.21 se muestran los desplazamientos horizontales de la plataforma, así como una revisión contra desplazamientos horizontales máximos establecidos del 6% y 8%. Se observa que, para una mayor longitud de la línea entre puntos de apoyo (menor fuerza de pretensión), el desplazamiento horizontal es mayor, pero al aumentar el ángulo de salida o el número de líneas, el desplazamiento horizontal disminuye. Así también, para cuando la longitud de la línea se incrementa en un 2% el tirante de agua, no se cumple el desplazamiento máximo del 6% propuesto en la condición intacta, mientras que, en la condición dañada, los desplazamientos se incrementan y existe una mayor probabilidad que no se cumplan dichos desplazamientos propuestos.

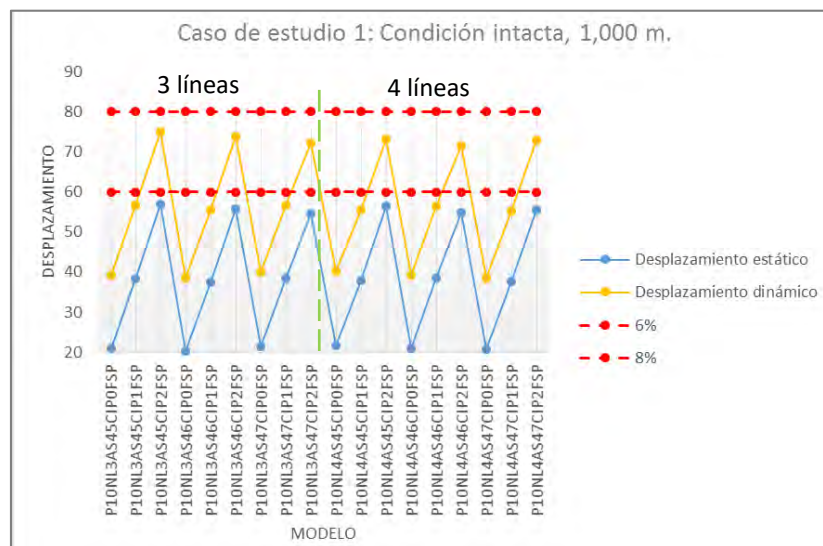


Figura 3.20. Desplazamientos horizontales, caso de estudio 1: 1,000 m, condiciones intactas.

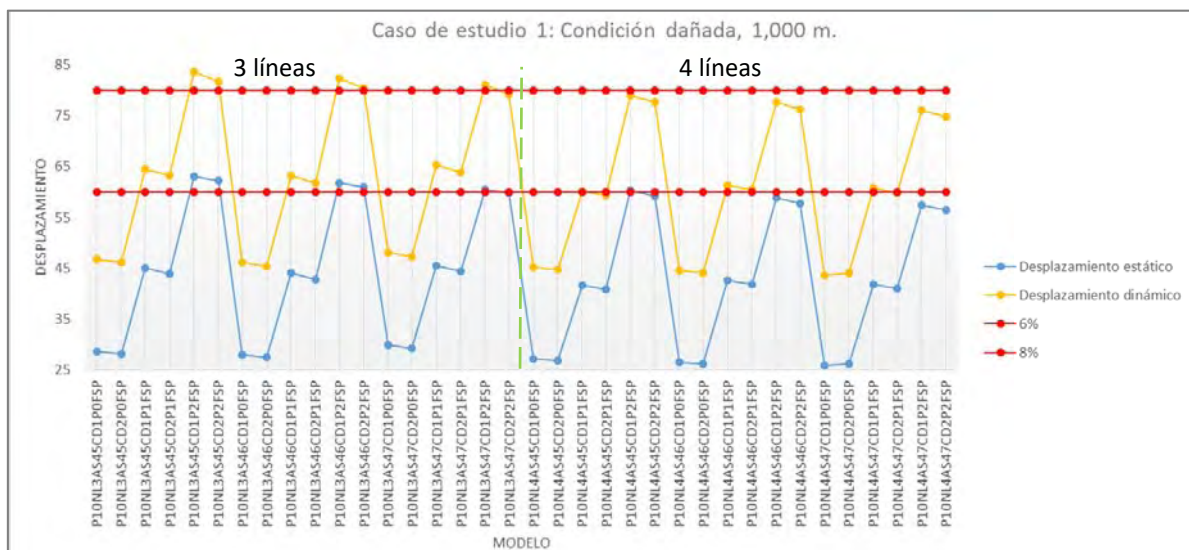


Figura 3.21. Desplazamientos horizontales, caso de estudio 1: 1,000 m, condiciones dañadas.

### 3.3.2 Caso de estudio 2: 1,500 m de tirante de agua.

En las Figuras 3.22 y 3.23 se muestran los factores de seguridad mínimos de cada modelo, los cuales cumplen los factores de seguridad indicados por el API-RP-2SK [6]. Al igual que para el caso de estudio 1, se observa mayor redundancia al aumentar la cantidad de líneas por columna en las condiciones dañadas. Así también, se observa una disminución en el factor de seguridad de los análisis estáticos al incrementar el tirante de agua.

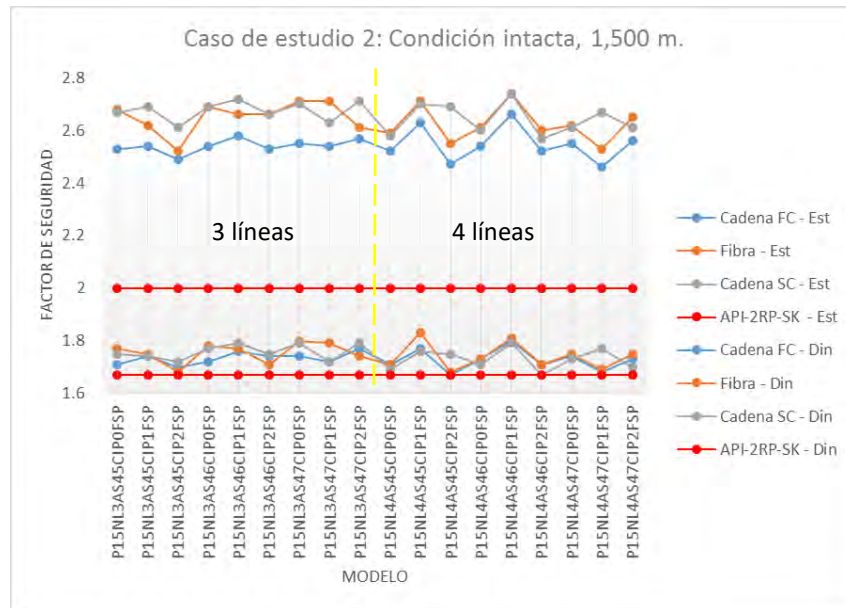


Figura 3.22. Factores de seguridad, caso de estudio 2: 1,500 m, condiciones intactas.

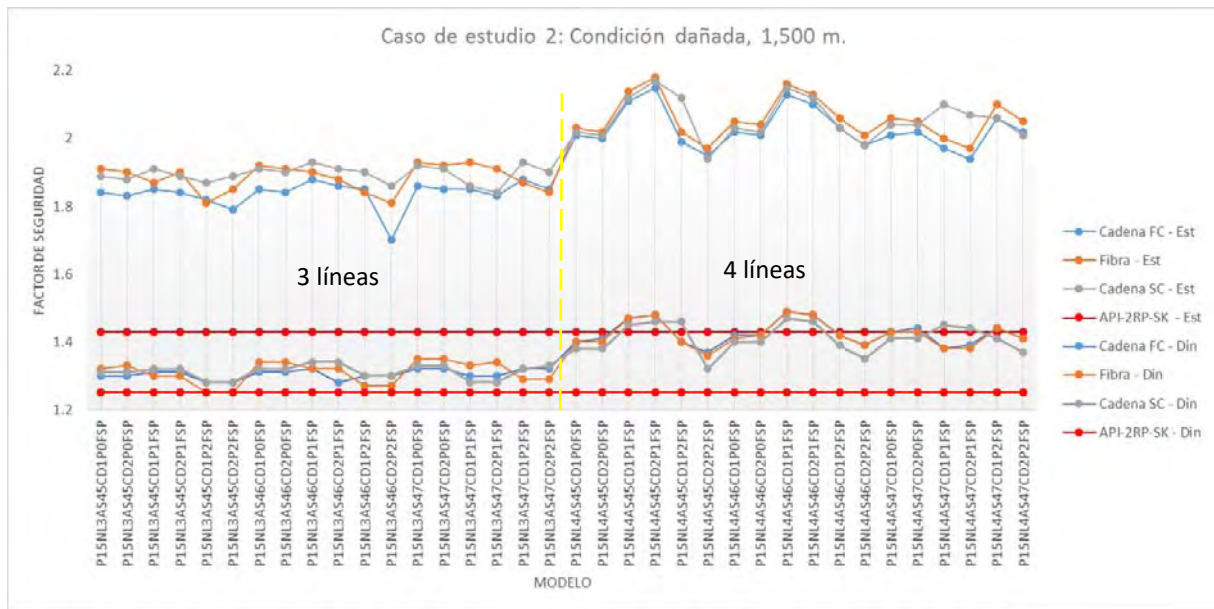


Figura 3.23. Factores de seguridad, caso de estudio 2: 1,500 m, condiciones dañadas.



En las Figuras 3.24 y 3.25 se muestran los desplazamientos horizontales, así como una revisión contra desplazamientos horizontales establecidos. Se observa que, al igual que para el tirante de agua de 1,000 m, al aumentar la longitud de la línea (disminución de la fuerza de pretensión) aumenta el desplazamiento horizontal, pero al aumentar el ángulo o la cantidad de las líneas, el desplazamiento horizontal disminuye.

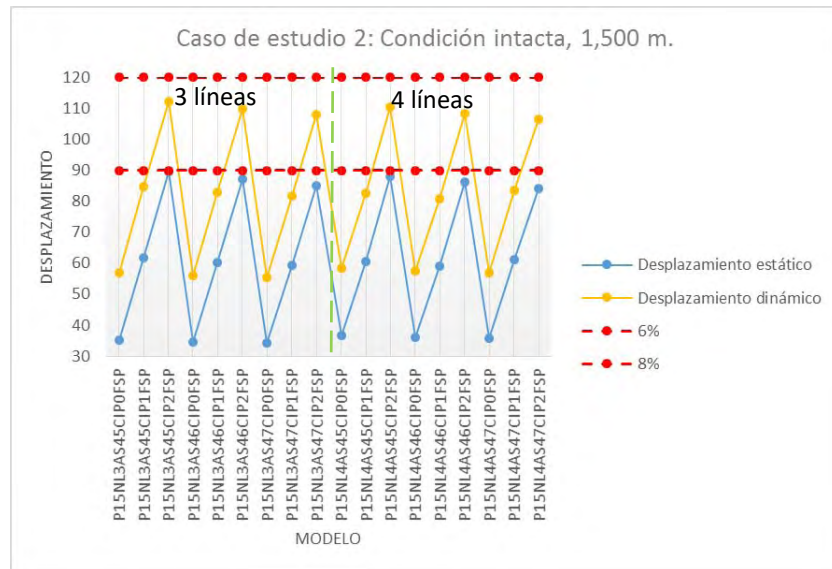


Figura 3.24. Desplazamientos horizontales, caso de estudio 2: 1,500 m, condiciones intactas.

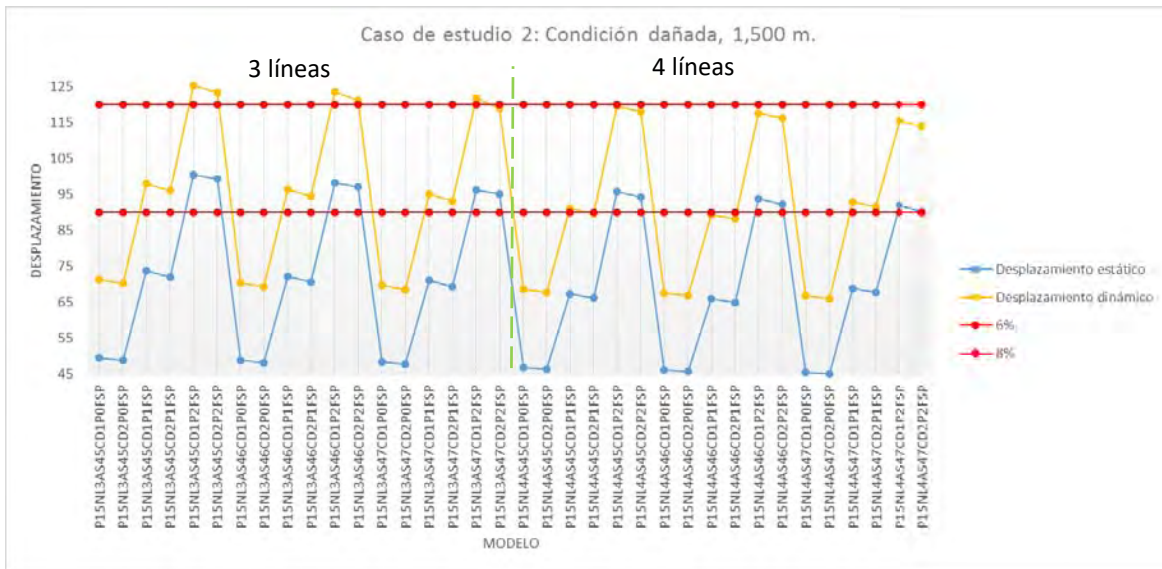


Figura 3.25. Desplazamientos horizontales, caso de estudio 2: 1,500 m, condiciones dañadas.

### 3.3.3 Caso de estudio 3: 2,000 m de tirante de agua.

En las Figuras 3.26 y 3.27 se muestran los factores de seguridad mínimos de cada modelo, donde estos cumplen con lo indicado en el API-RP-2SK [6]. De igual manera, se observa la redundancia en los modelos de cuatro líneas de amarre por columna en las condiciones dañadas, y la disminución del factor de seguridad en los análisis estáticos al incrementar el tirante de agua.

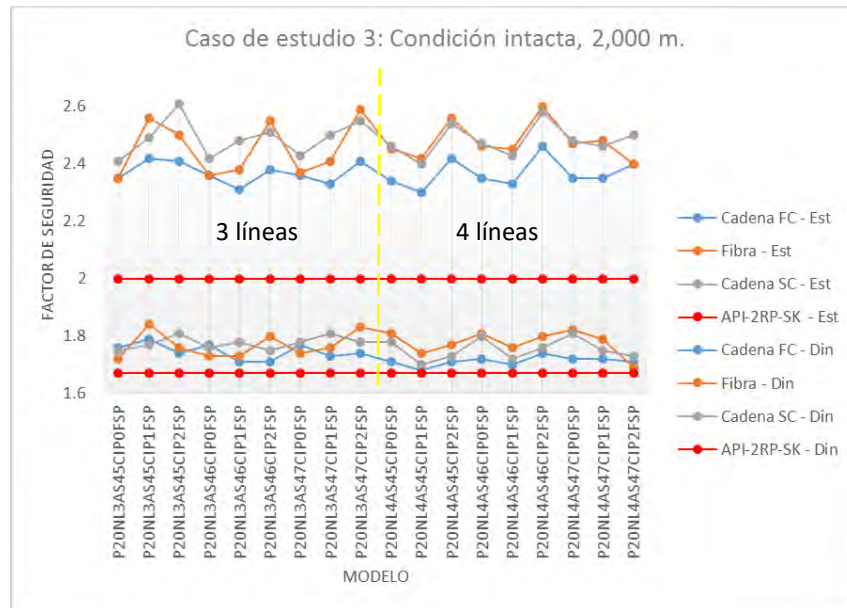


Figura 3.26. Factores de seguridad, caso de estudio 3: 2,000 m, condiciones intactas.

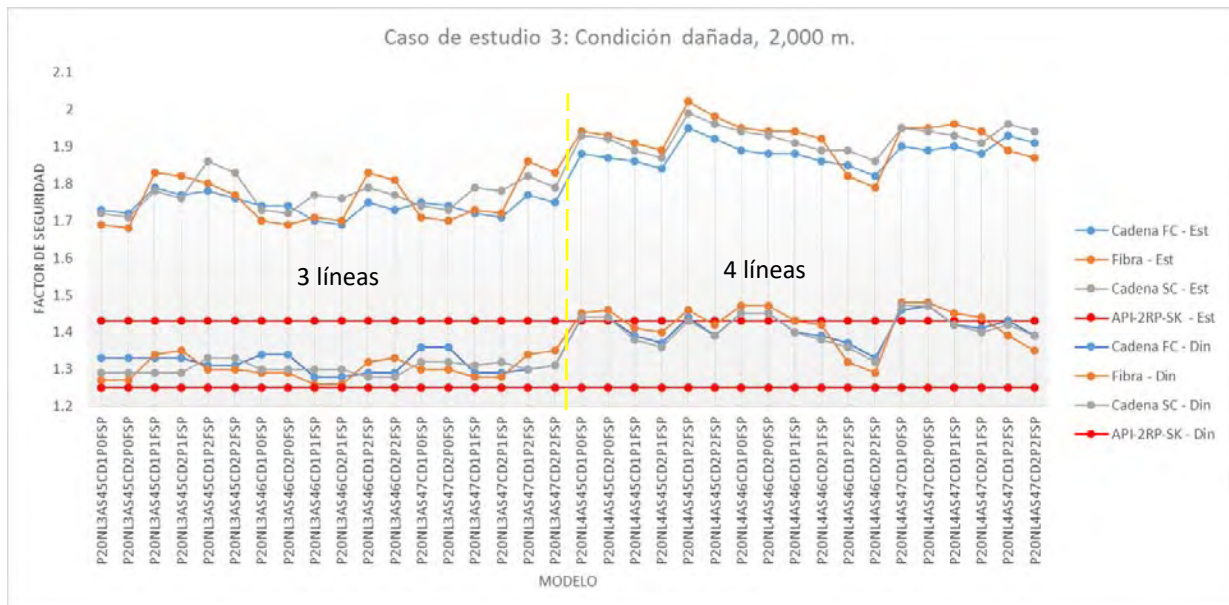


Figura 3.27. Factores de seguridad, caso de estudio 3: 2,000 m, condiciones dañadas.

En las Figuras 3.28 y 3.29 se muestran los desplazamientos horizontales, así como una revisión contra desplazamientos horizontales establecidos, que al igual que para menores tirantes de agua el comportamiento es similar. A mayor longitud de línea (menor pretensión) mayor es el desplazamiento horizontal, mientras que, para mayor ángulo de salida o cantidad de líneas, menor es el desplazamiento horizontal.

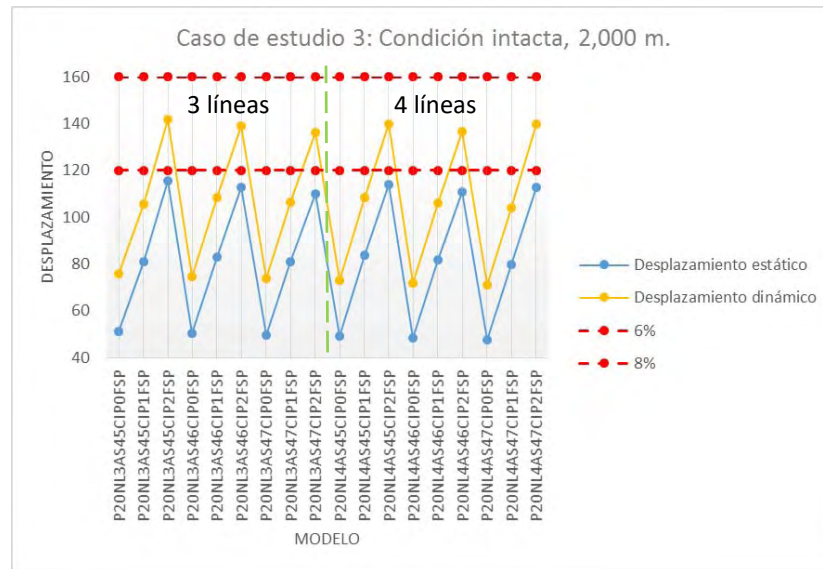


Figura 3.28. Desplazamientos horizontales, caso de estudio 3: 2,000 m, condiciones intactas.

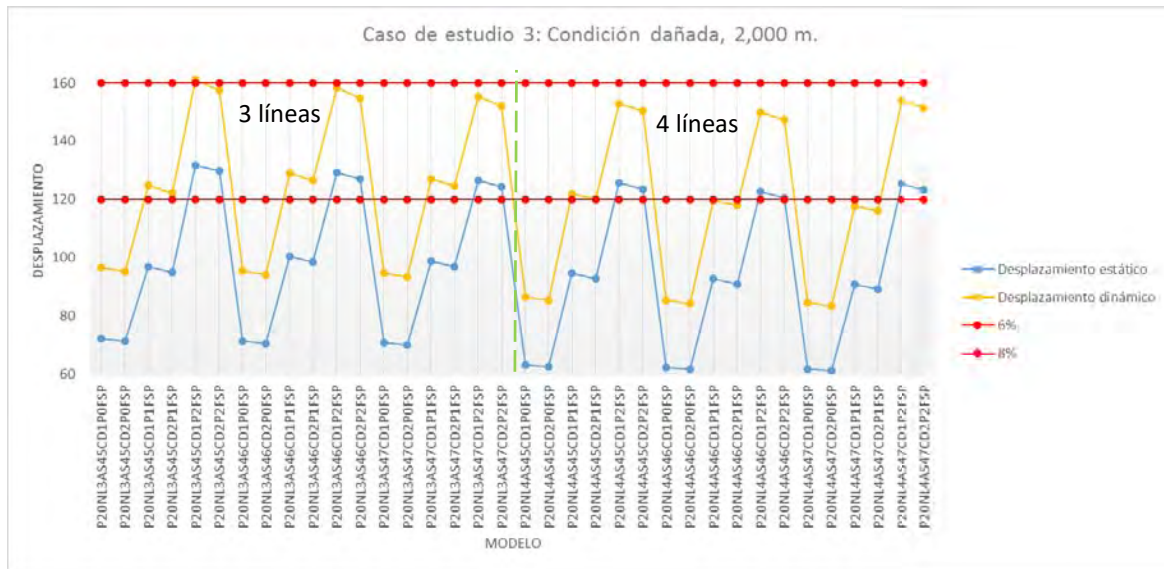


Figura 3.29. Desplazamientos horizontales, caso de estudio 3: 2,000 m, condiciones dañadas.



### 3.3.4 Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos.

Las relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos mostradas en el ANEXO A hacen referencia a la combinación J, y a las líneas 1 o 2, las cuales son las más críticas. Se calculó su media aritmética con el fin de tener la relación de las fuerzas axiales y desplazamientos entre análisis dinámicos y estáticos.

En la Tabla 3.14 se muestra la media aritmética de la relación dinámica-estática de fuerzas de tensión y desplazamientos para la combinación J, que se obtuvieron por medio de promedios. Como se ha indicado previamente, las relaciones de las fuerzas axiales son constantes para las condiciones intactas y dañadas por tirante de agua, sin importar alguna otra variable. Mientras que, para las relaciones de los desplazamientos, las únicas variables que modifican el valor son el tirante de agua y la longitud adicional de la línea (pretensión).

Tabla 3.14. Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos, combinación J.

Tirante de agua	Condición	Relaciones dinámicas-estáticas			Longitud adicional de la línea	Relación desplazamiento
		Cadena FC	Fibra	Cadena SC		
1,000	INTACTA	1.94	2.02	2.04	0.00% tirante	2.05
					0.01% tirante	1.61
					0.02% tirante	1.44
	DAÑADA	1.77	1.81	1.82	0.00% tirante	1.81
					0.01% tirante	1.54
					0.02% tirante	1.41
1,500	INTACTA	1.96	2.03	2.06	0.00% tirante	2.05
					0.01% tirante	1.62
					0.02% tirante	1.44
	DAÑADA	1.82	1.87	1.88	0.00% tirante	1.88
					0.01% tirante	1.56
					0.02% tirante	1.42
2,000	INTACTA	1.57	1.63	1.64	0.00% tirante	1.69
					0.01% tirante	1.45
					0.02% tirante	1.35
	DAÑADA	1.50	1.53	1.55	0.00% tirante	1.54
					0.01% tirante	1.40
					0.02% tirante	1.32

Para etapas de diseño preliminar, estas relaciones son de utilidad para obtener una aproximación a los factores de seguridad y desplazamientos dinámicos con un bajo costo computacional.

Se propone realizar un análisis estático en la combinación J (en la Tabla 2.7 se especifican factores y direcciones de las fuerzas ambientales), y multiplicar las fuerzas axiales y desplazamientos con los factores correspondientes para obtener un factor de seguridad y desplazamiento dinámico aproximado. Sin embargo, para cumplir con el API-RP-2SK [6] se deben analizar estática y dinámicamente “todas” las combinaciones, para las condiciones intactas y dañadas.

## 4 SISTEMA DE AMARRE ÓPTIMO

En el capítulo previo, se mostraron los factores de seguridad y desplazamientos laterales para los análisis estáticos y dinámicos de cada caso de estudio. Se procuró que las dimensiones de las secciones fuesen las menores posibles con un factor de seguridad mayor al indicado por la normatividad. Así también, se revisó el desplazamiento lateral ante dos límites propuestos, 6% y 8% del tirante de agua.

Para determinar la configuración óptima del sistema de amarre, se comparó el peso total del sistema de amarre contra los desplazamientos. Sin embargo, existen otros factores importantes a considerar en la optimización, tales como: el costo total de los pilotes de anclaje incluyendo su instalación, y el costo de las líneas de amarre incluyendo su instalación, mantenimiento y retiro.

En esta investigación también se realizó una aproximación en la optimización del sistema de amarre con base en el costo de las líneas de amarre. La Figura 4.1 muestra los diferentes costos de las líneas de amarre, que incluye instalación, mantenimiento y retiro con costos para el año 2012. Aunque la gráfica no considera eslabones reforzados ni muestra costos para cargas de ruptura mayores a 1,000 toneladas, se usaron los costos para eslabones no reforzados, y se realizó una extrapolación para cargas de ruptura mayores a 1,000 toneladas (9800 KN).

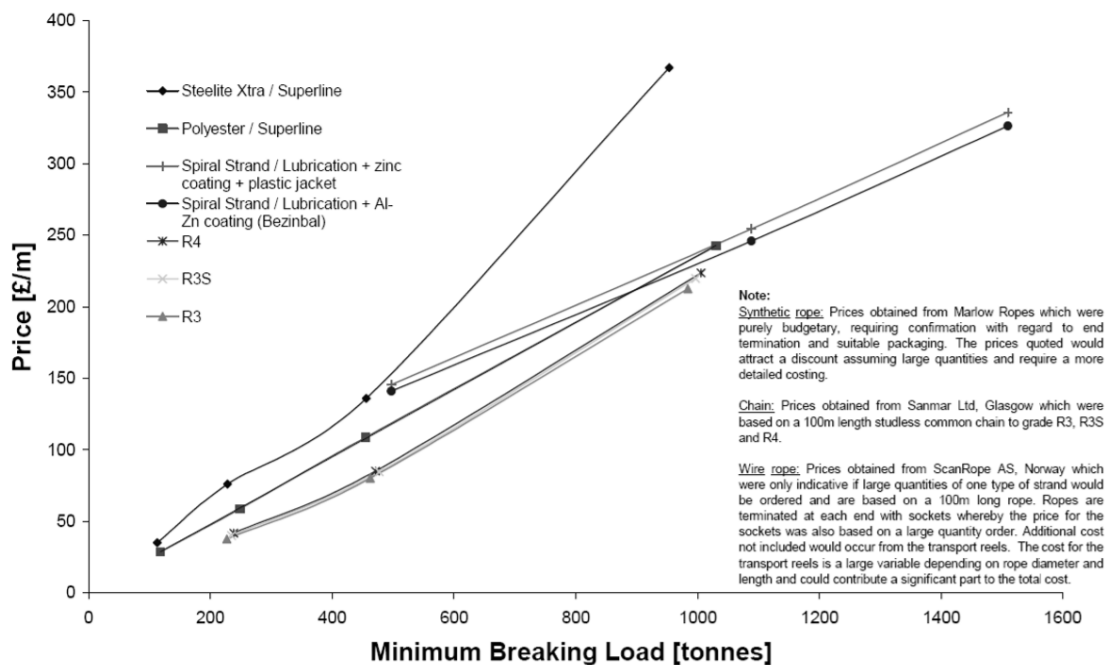
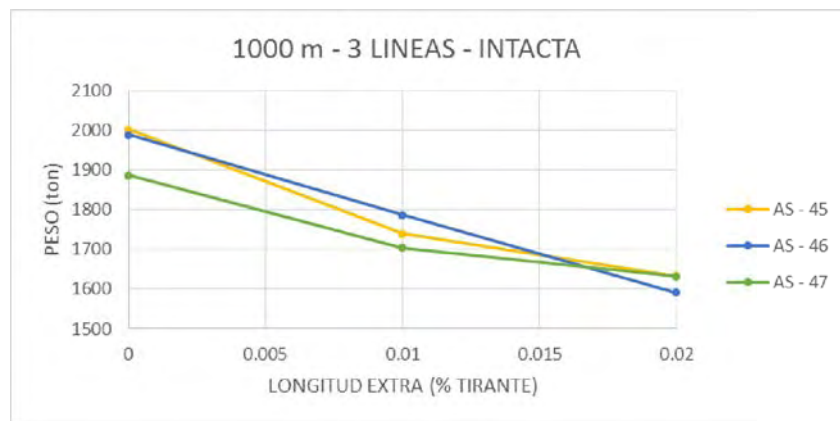


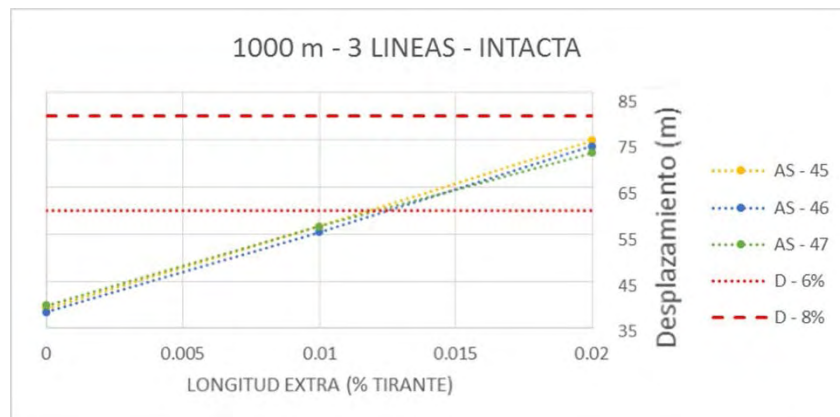
Figura 4.1. Costo de diferentes tipos de líneas de amarre para el 2012 [23].

Los resultados se agruparon de acuerdo con el tirante de agua estudiado, y se muestran en las Figuras 4.3 a la 4.14. Cada gráfica de la figura representa un tirante de agua, cantidad de líneas por columna y la condición de análisis. En cada curva de una gráfica representa el ángulo de salida de las líneas de amarre con respecto a la vertical. Las líneas continuas indican el peso, mientras que las líneas punteadas indican el desplazamiento horizontal. En el eje 'X' se indica la longitud adicional de la línea (pretensión), y en el eje 'Y' se indica el peso o costo total (lado izquierdo), y el desplazamiento horizontal (lado derecho). Además, se indican los límites de desplazamiento horizontal, 6% y 8% con líneas horizontales punteadas.

Por ejemplo, en la Figura 4.2 se muestra una discretización de una gráfica para una comparación peso-desplazamiento, tirante de agua de 1000 m, 3 líneas de amarre y una condición intacta. En la Figura 4.2 (A) se grafica la longitud extra contra el peso para cada ángulo de salida, mientras que en la Figura 4.2 (B) se grafica la longitud extra contra el desplazamiento lateral para cada ángulo de salida. Estas dos gráficas se combinan en una sola, la cual se observa en la Figura 4.3 (A).



(A)

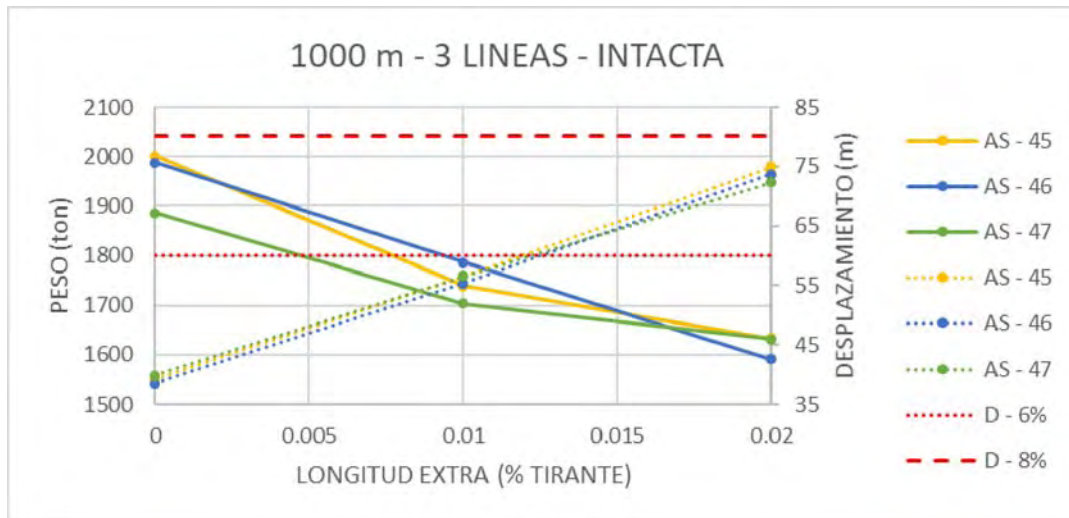


(B)

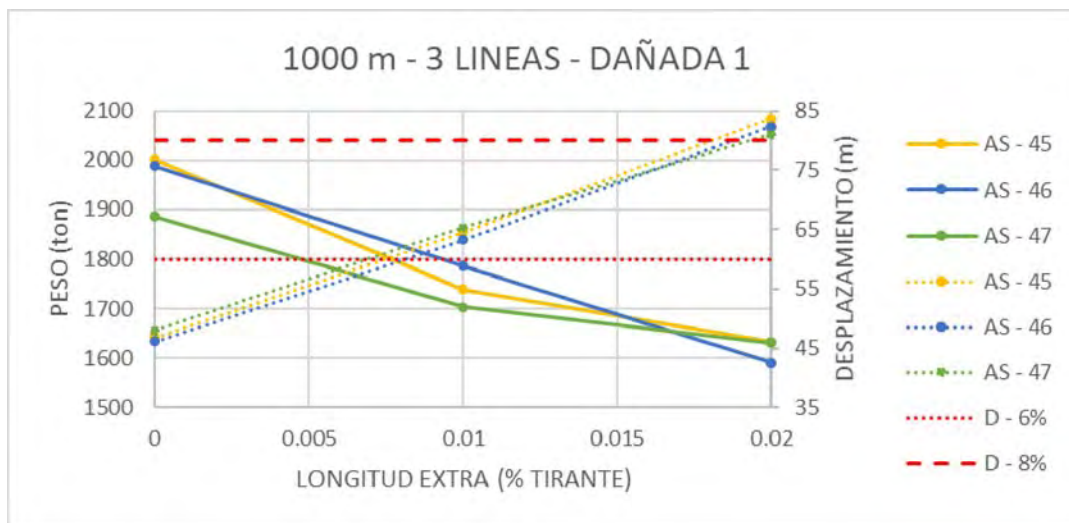
Figura 4.2. Discretización de las gráficas para comparación entre los pesos y costos.

#### 4.1 Caso de estudio 1: 1,000 m de tirante de agua

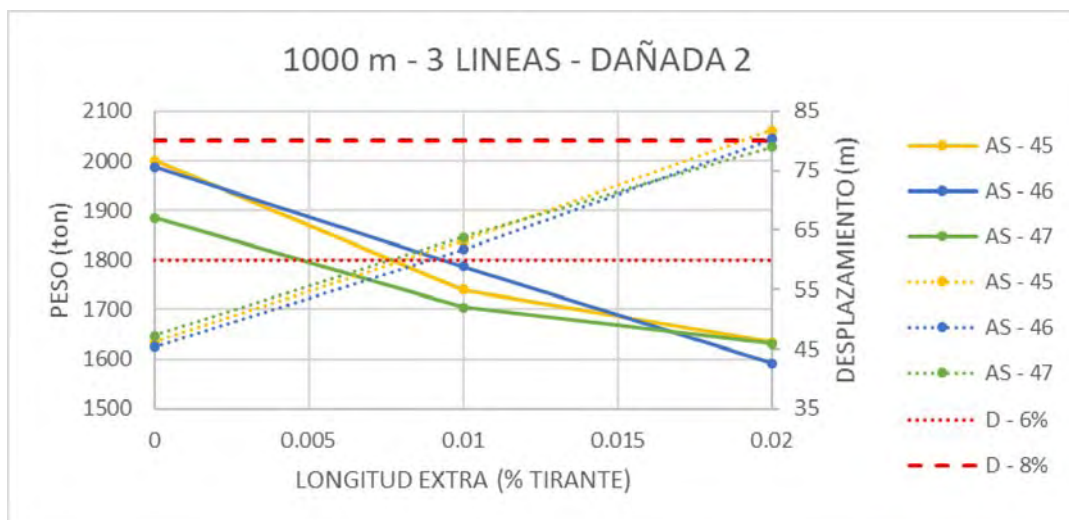
En las Figuras 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 se muestra la comparación realizada entre los pesos y costos del sistema de amarre contra los desplazamientos horizontales, para un tirante de agua de 1,000 m. De esto se concluye que, la configuración óptima del sistema con base en el peso y costo total de las líneas de amarre, sin considerar un desplazamiento horizontal límite, es con 4 líneas por columna, y un ángulo de salida de  $46.42^\circ$ . Al considerar un desplazamiento horizontal límite del 6%, la pretensión óptima es la asociada a una longitud adicional de  $0.01P$ , mientras que al ser del 8%, la pretensión óptima es la asociada a una longitud adicional de  $0.02P$ . Es importante mencionar, que en este estudio no se considera el costo asociado a la fabricación e instalación del sistema de pilotes de anclaje.



(A)

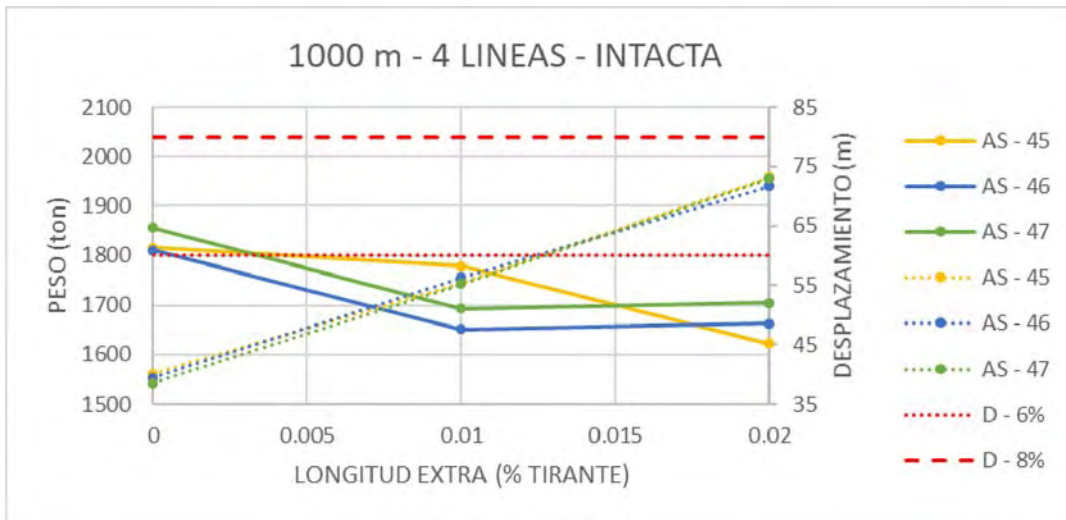


(B)

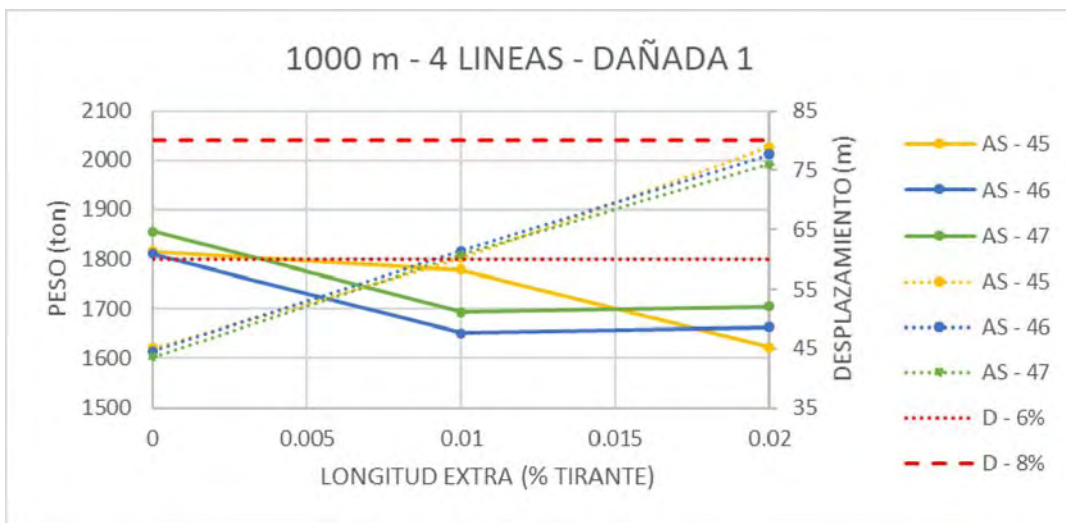


(C)

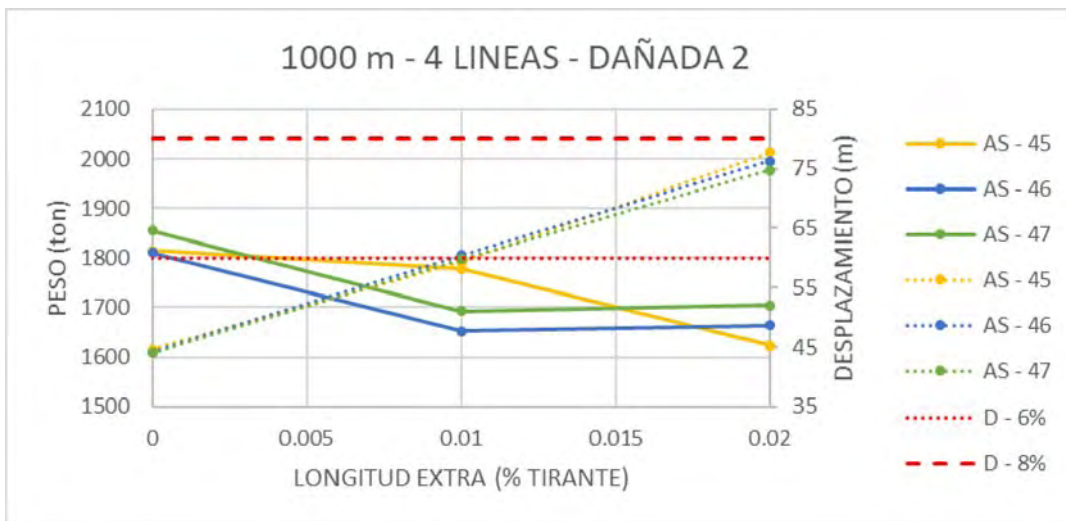
Figura 4.3. Comparación peso-desplazamiento, caso de estudio 1: tirante 1,000 m, 3 líneas.



(A)



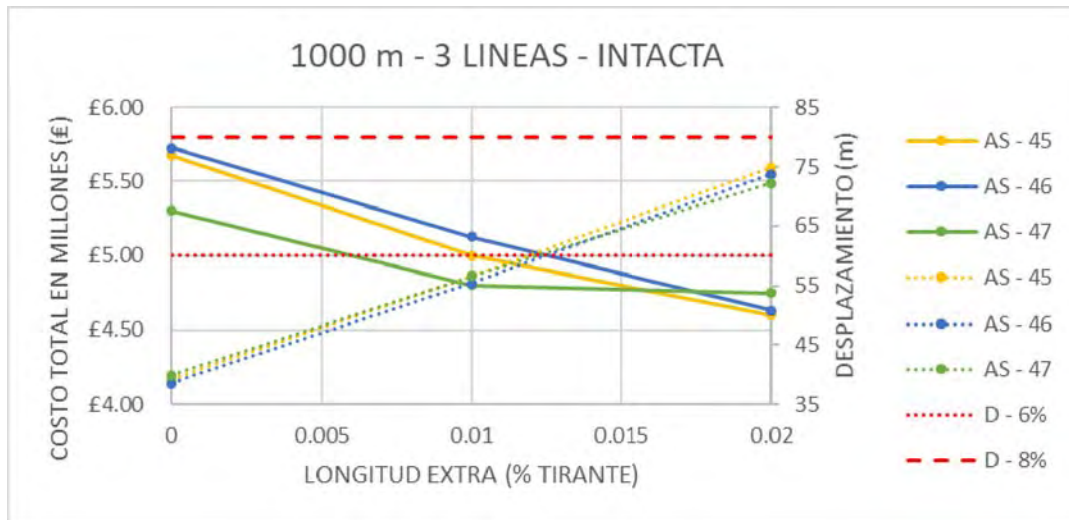
(B)



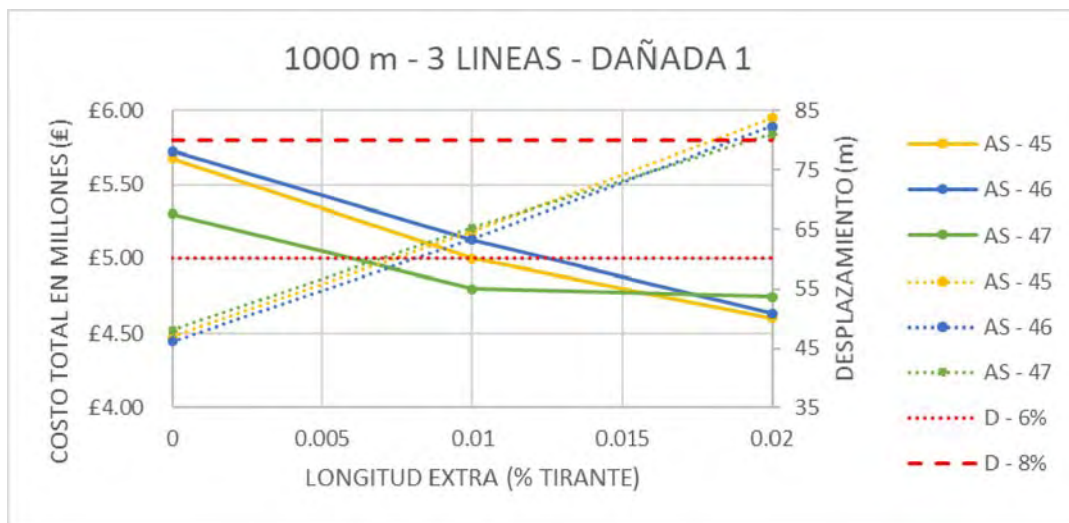
(C)

Figura 4.4. Comparación peso-desplazamiento, caso de estudio 1: tirante 1,000 m, 4 líneas.





(A)



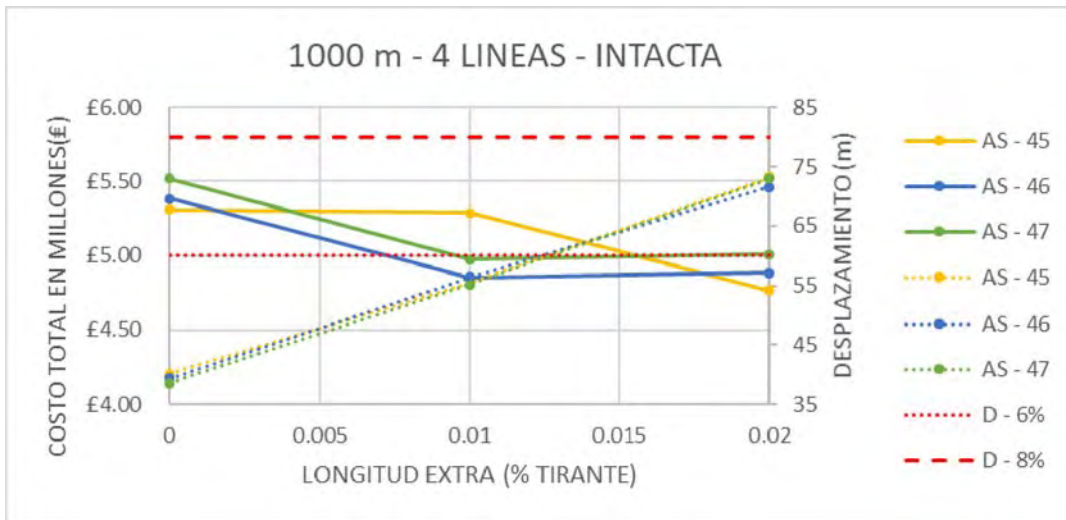
(B)



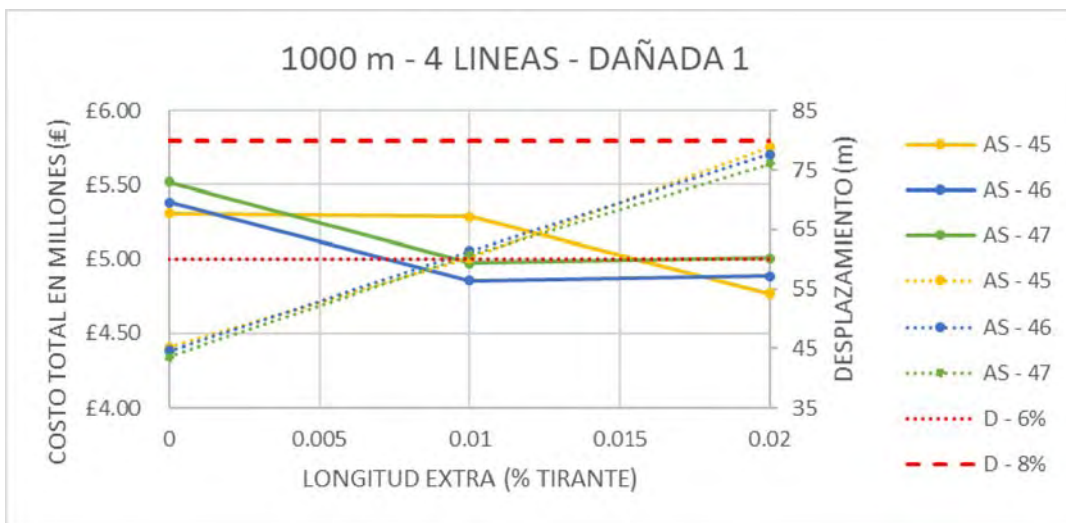
(C)

Figura 4.5. Comparación costo-desplazamiento, caso de estudio 1: tirante 1,000 m, 3 líneas.





(A)



(B)

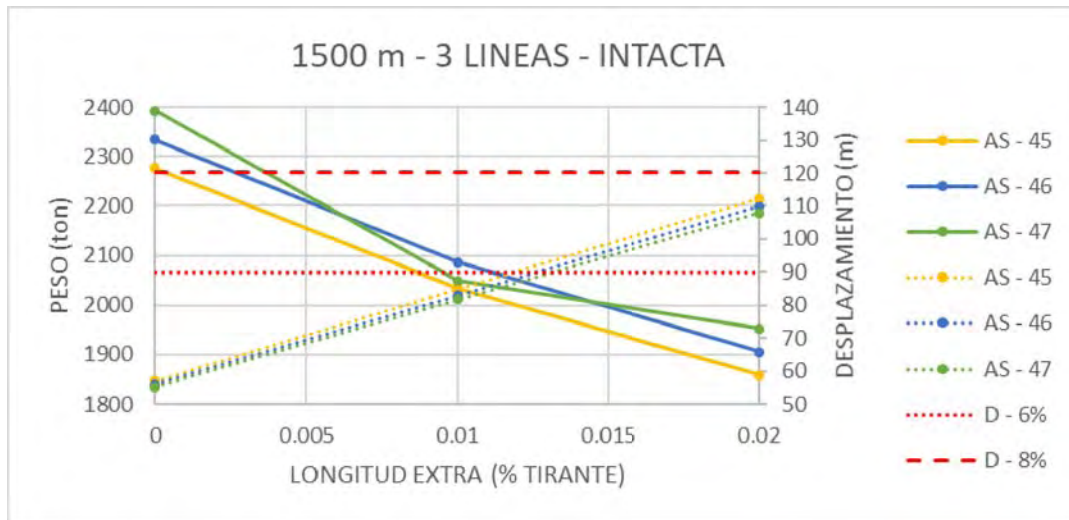


(C)

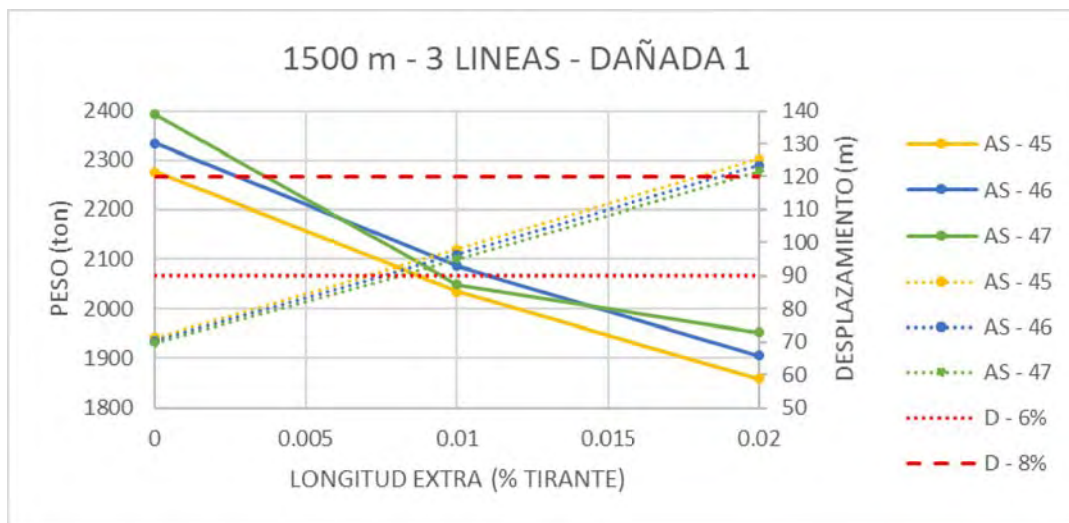
Figura 4.6. Comparación costo-desplazamiento, caso de estudio 1: tirante 1,000 m, 4 líneas.

#### 4.2 Caso de estudio 2: 1,500 m de tirante de agua

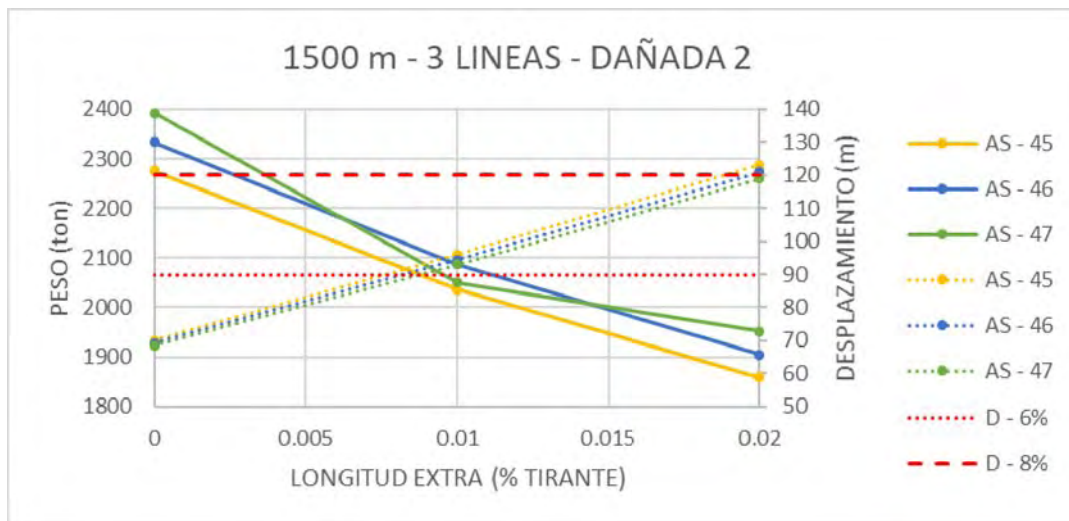
En las Figuras 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10 se muestra la comparación entre los pesos y costos del sistema de amarre contra los desplazamientos horizontales, respectivamente, para un tirante de agua de 1,500 m. De lo cual se concluye que, la configuración óptima del sistema con base en el peso y costo total de las líneas de amarre, sin considerar un desplazamiento horizontal límite, es con 4 líneas por columna, y un ángulo de salida de  $45^\circ$ . Al considerar un desplazamiento horizontal límite del 6%, la pretensión óptima es la asociada a una longitud adicional de  $0.01P$ , mientras que al ser del 8%, la pretensión óptima es la asociada a una longitud adicional de  $0.02P$ .



(A)

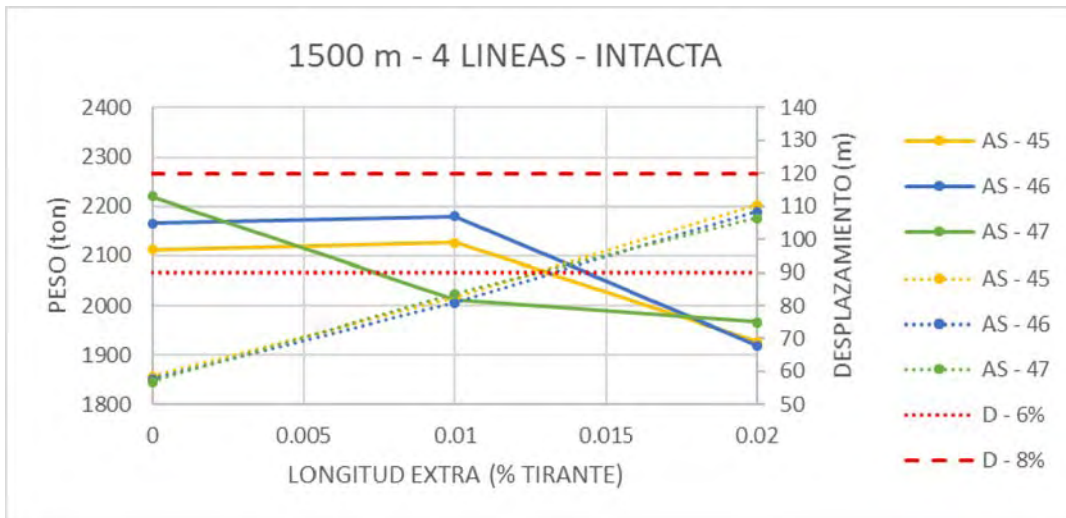


(B)

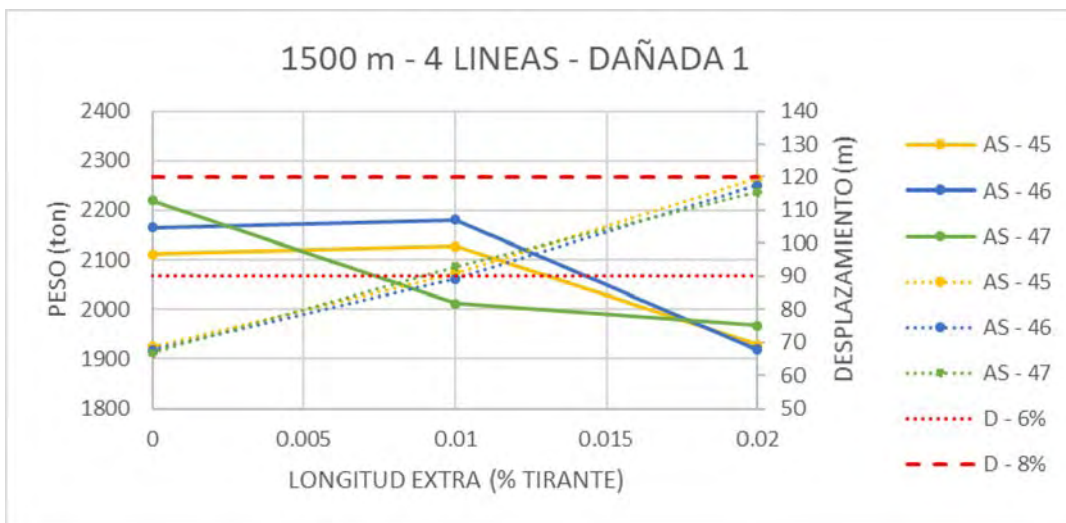


(C)

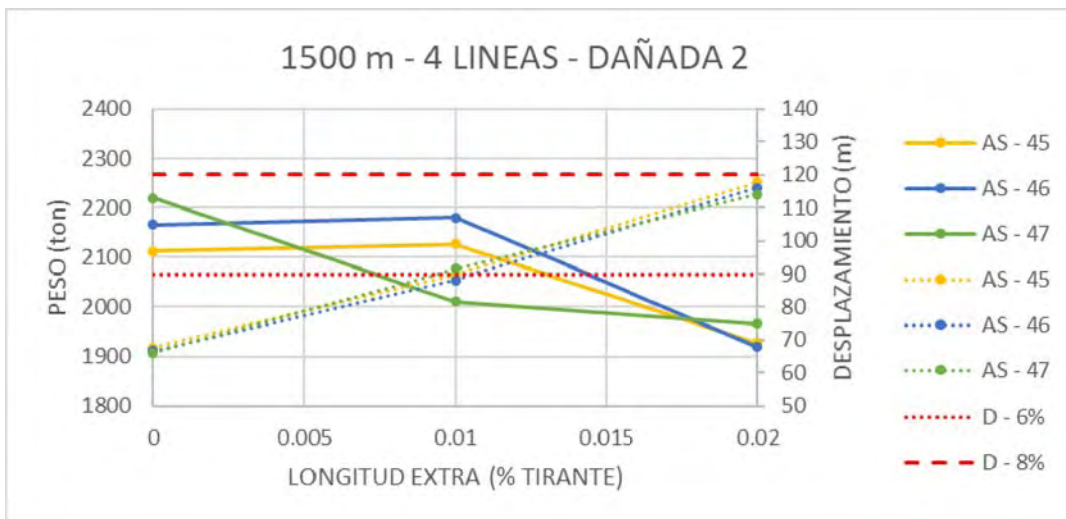
Figura 4.7. Comparación peso-desplazamiento, caso de estudio 2: tirante 1,500 m, 3 líneas.



(A)



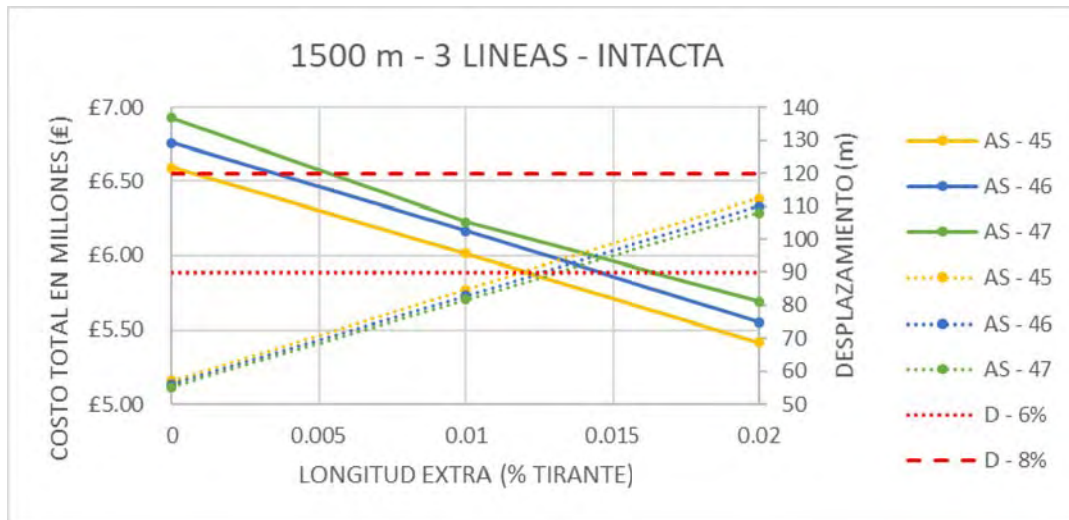
(B)



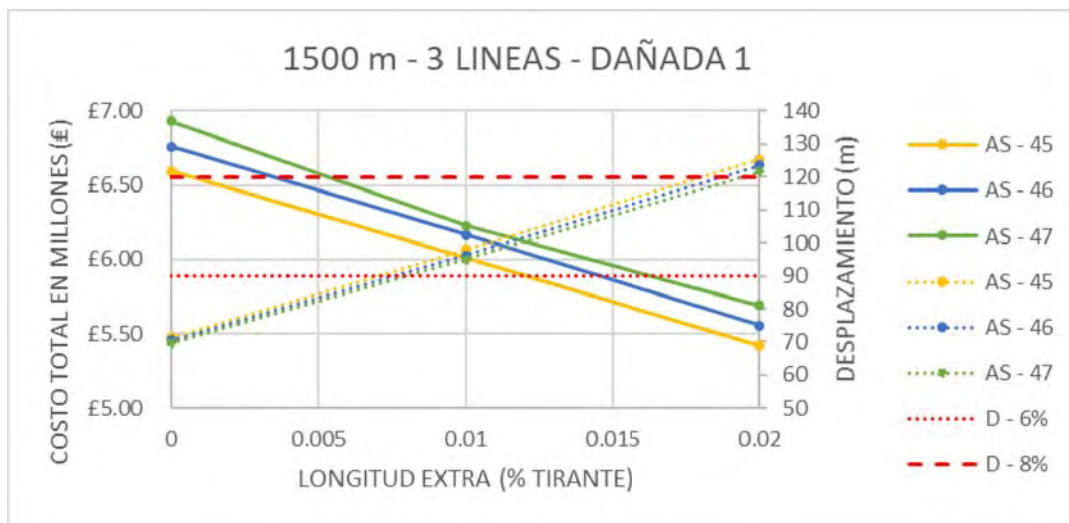
(C)

Figura 4.8. Comparación peso-desplazamiento, caso de estudio 2: tirante 1,500 m, 4 líneas.

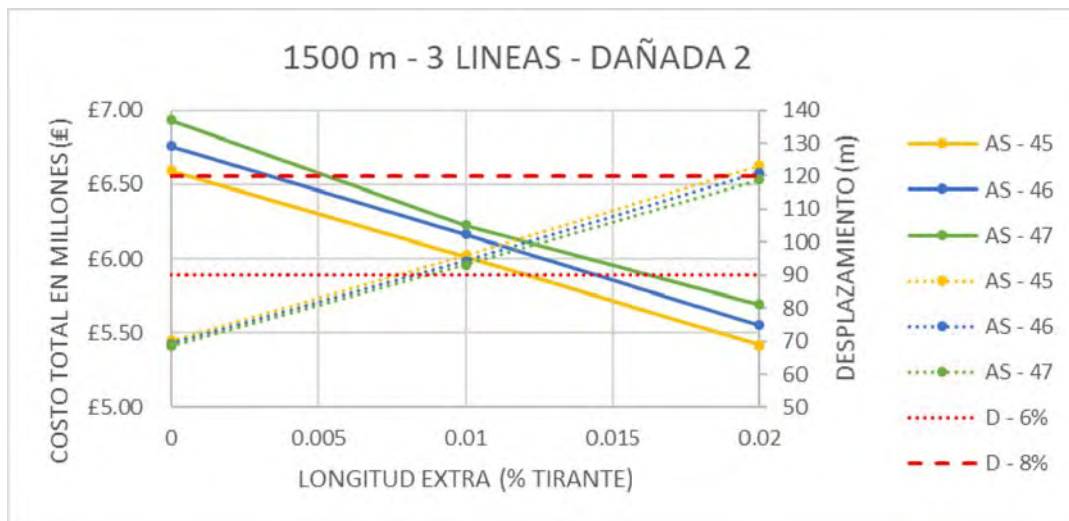




(A)



(B)



(C)

Figura 4.9. Comparación costo-desplazamiento, caso de estudio 2: tirante 1,500 m.

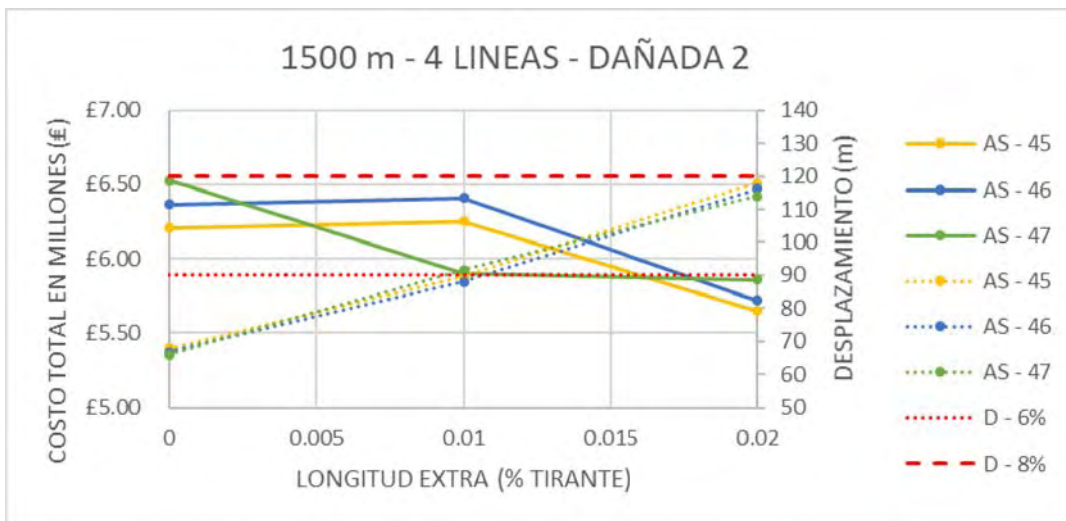
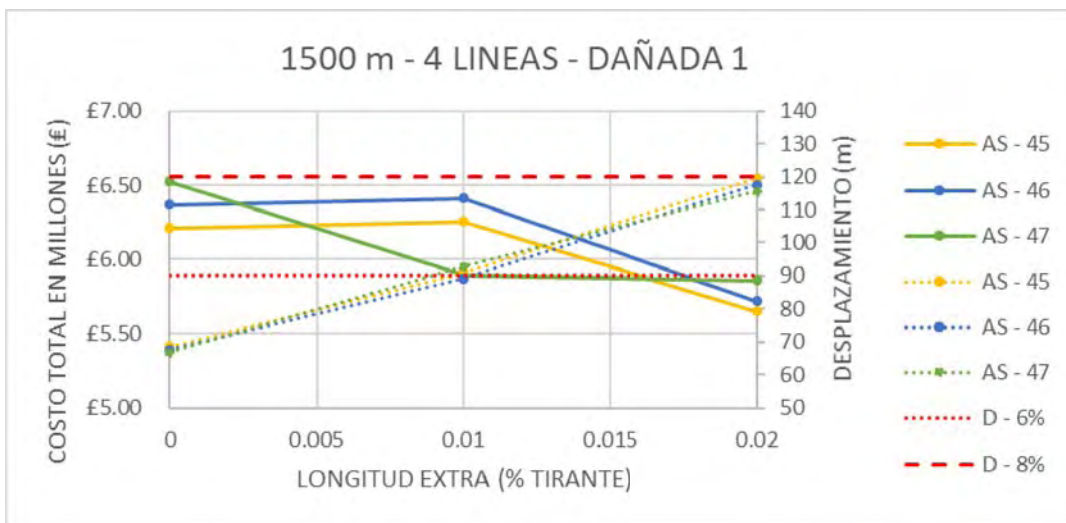
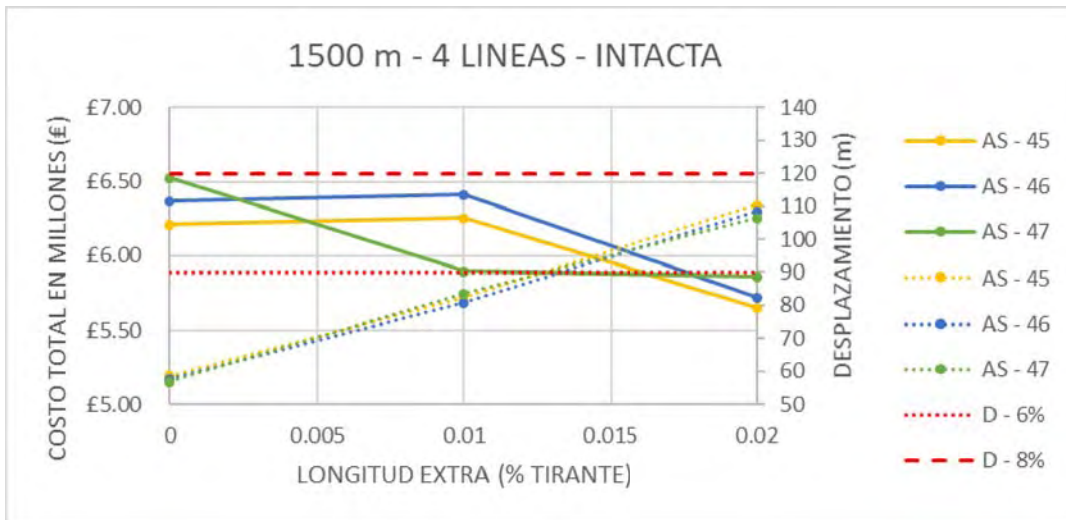
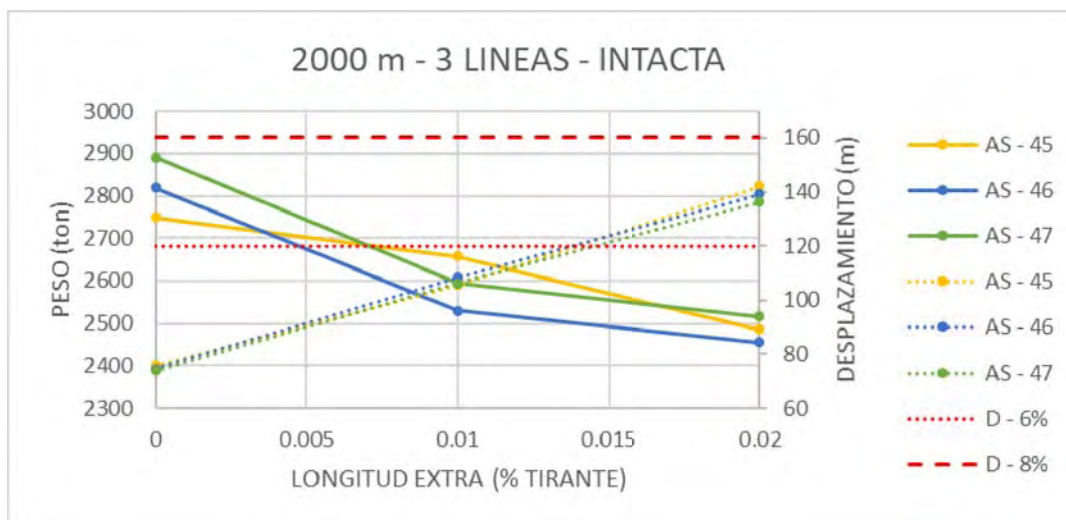


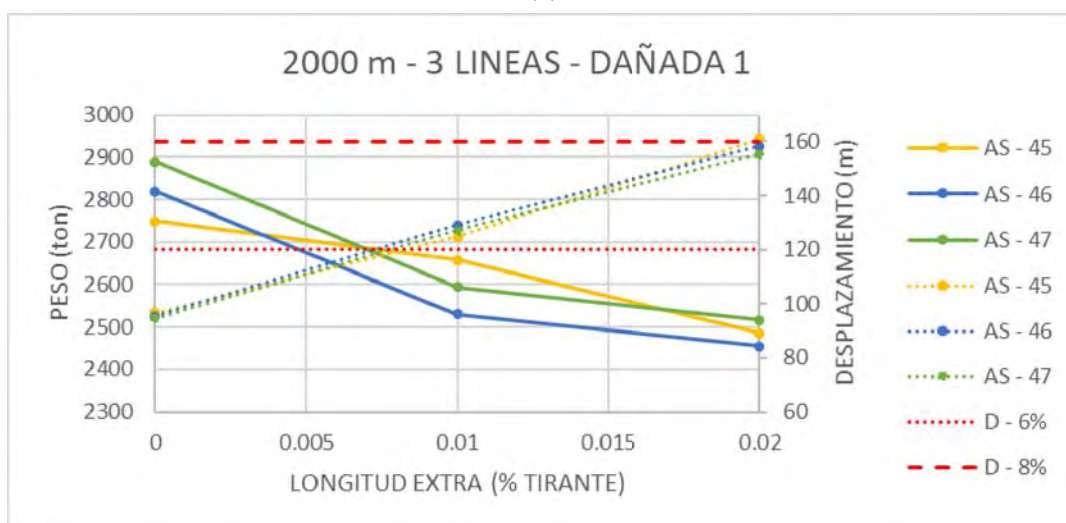
Figura 4.10. Comparación costo-desplazamiento, caso de estudio 2: tirante 1,500 m, 4 líneas.

#### 4.3 Caso de estudio 3: 2,000 m de tirante de agua

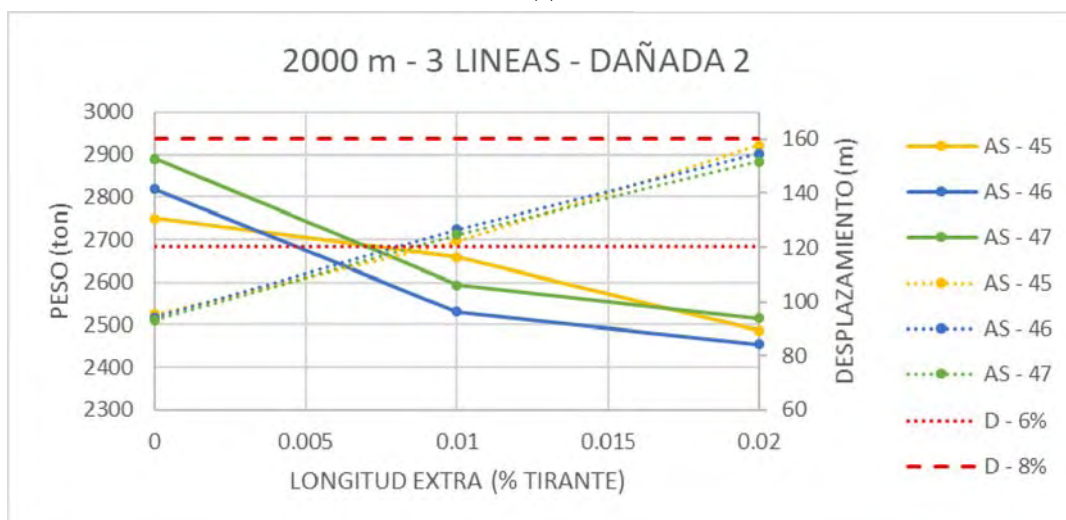
En las Figuras 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14 se muestra la comparación entre los pesos y costos del sistema de amarre contra los desplazamientos horizontales, respectivamente, para un tirante de agua de 2,000 m. De esto se concluye que, la configuración óptima del sistema con base en el peso y costo total de las líneas de amarre, sin considerar un desplazamiento horizontal límite, es con 4 líneas por columna. Al considerar un desplazamiento horizontal límite del 6%, la pretensión óptima es la asociada a una longitud adicional de  $0.01P$  y un ángulo de salida de  $45^\circ$ , mientras que para un desplazamiento horizontal límite del 8%, la pretensión óptima es la asociada a una longitud adicional de  $0.02P$  y un ángulo de salida de  $46.42^\circ$ .



(A)



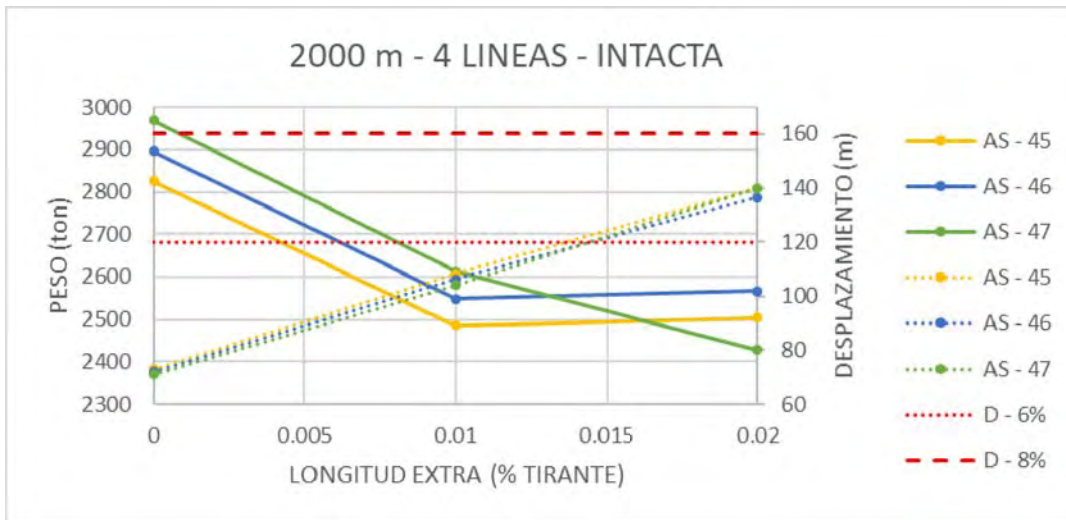
(B)



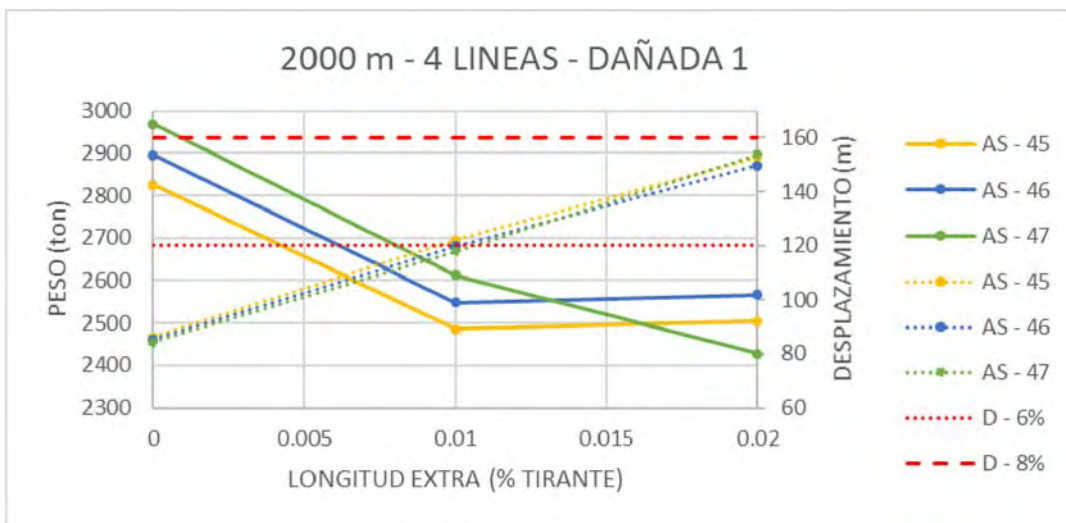
(C)

Figura 4.11. Comparación peso-desplazamiento, caso de estudio 3: tirante 2,000 m, 3 líneas.

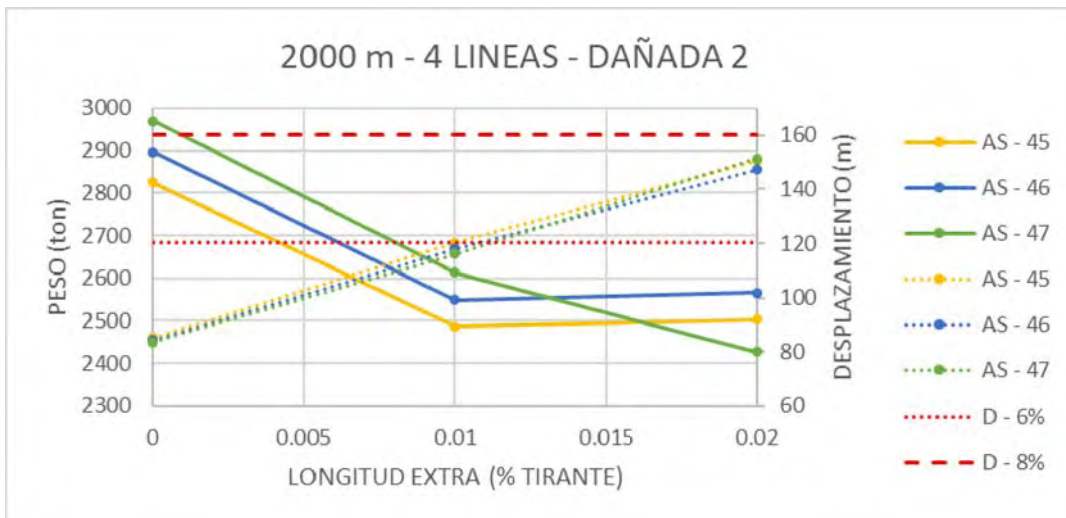




(A)

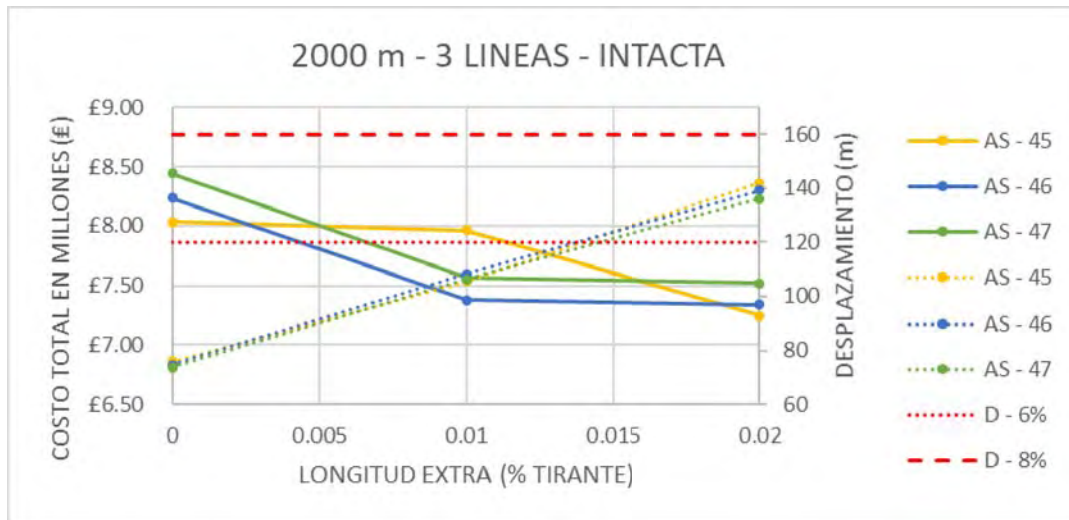


(B)

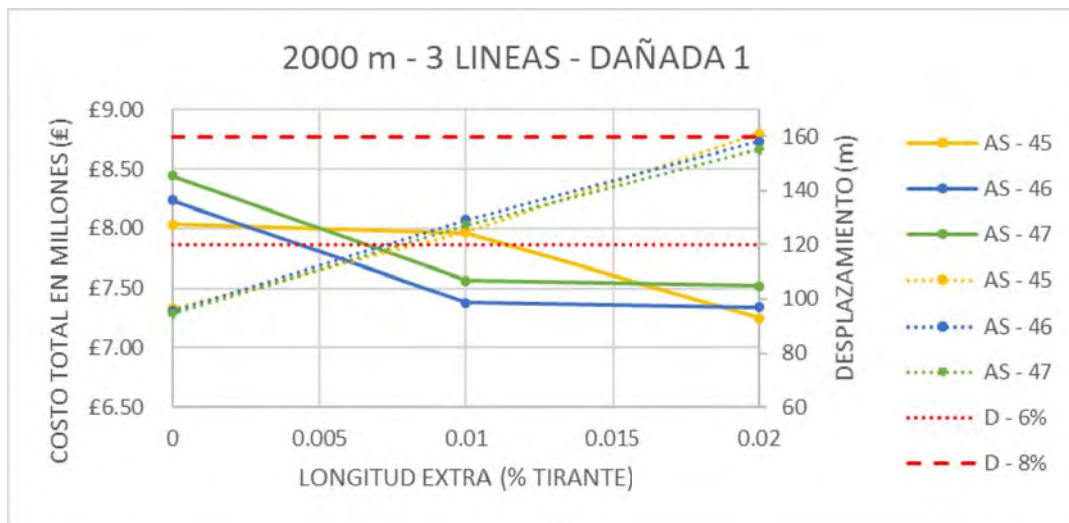


(C)

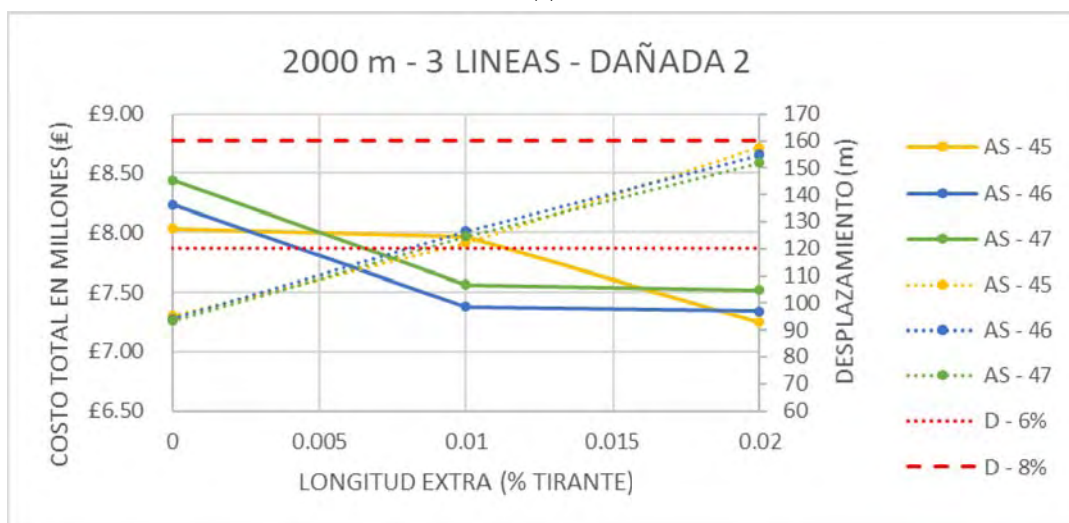
Figura 4.12. Comparación peso-desplazamiento, caso de estudio 3: tirante 2,000 m, 4 líneas.



(A)

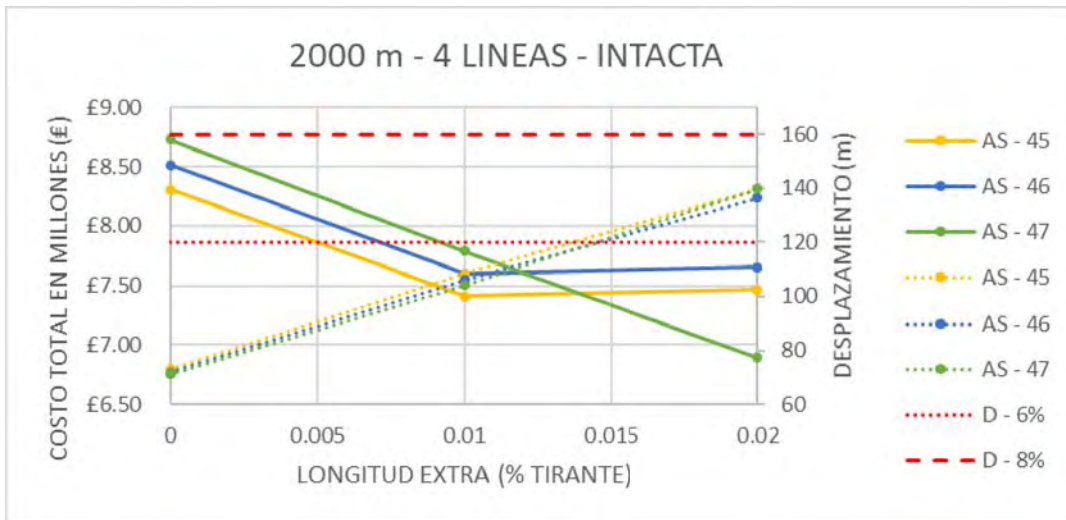


(B)

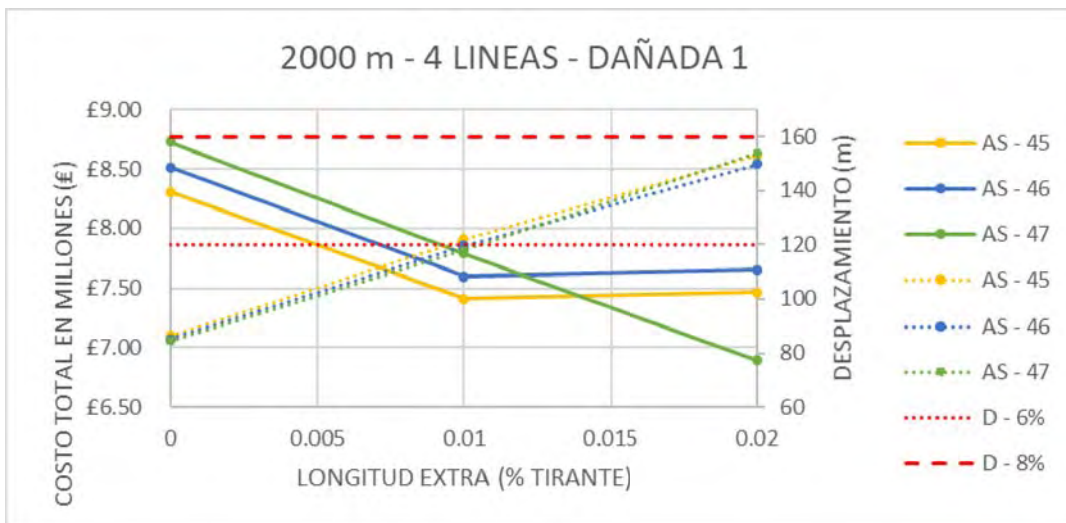


(C)

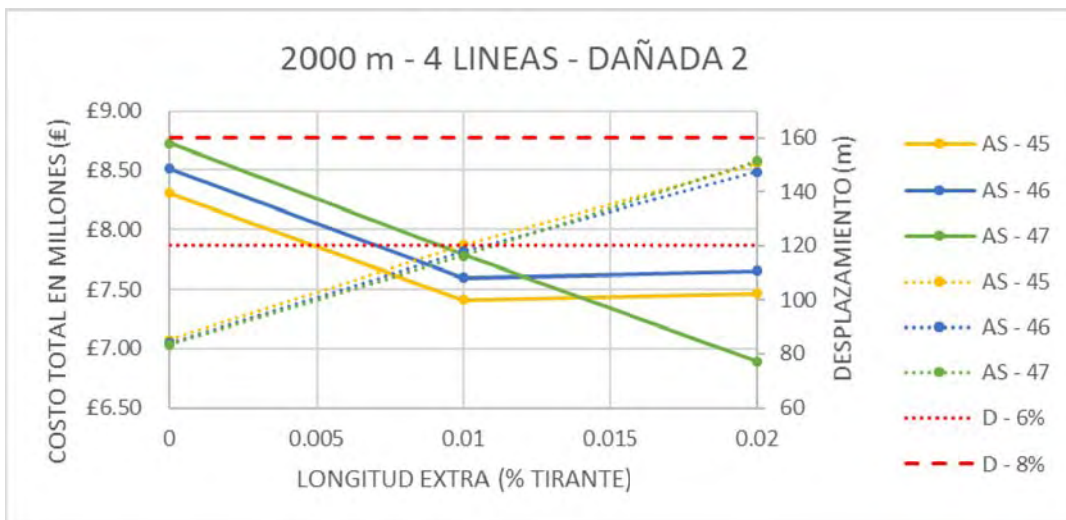
Figura 4.13. Comparación costo-desplazamiento, caso de estudio 3: tirante 2,000 m, 3 líneas.



(A)



(B)



(C)

Figura 4.14. Comparación costo-desplazamiento, caso de estudio 3: tirante 2,000 m, 4 líneas.

#### 4.4 Configuración óptima

De acuerdo con los resultados presentados anteriormente, se observa que, para una plataforma con las características presentadas en el apartado 2.6 para diferentes tirantes de agua, la configuración óptima del sistema de amarre dependerá del desplazamiento horizontal límite. Para un desplazamiento horizontal límite del 6% el número de líneas y el ángulo de salida son variables, y la longitud extra asociada a la pretensión óptima es entre el 0.00% y 0.01% del tirante de agua. Mientras que para un desplazamiento horizontal límite del 8%, el número de líneas óptimo es cuatro líneas, el ángulo de salida óptimo depende del tirante de agua, y la longitud extra asociada a la pretensión óptima es del 0.02% del tirante de agua.

Cabe recordar que el costo total del sistema de amarre es una aproximación debido a que no considera eslabones reforzados tal como se muestra en la Figura 4.1, así mismo, los precios para cargas de ruptura mayor a 1,000 ton se extrapolaron, y no se consideró el peso ni costo de material, fabricación e instalación de los pilotes de anclaje. No obstante, los resultados mostrados en las gráficas anteriores concluyen que el costo total del sistema de amarre sin pilotes es directamente proporcional a su peso total.

Con base en el peso total y un costo aproximado del sistema de amarre, en la Tabla 4.1 se presentan las configuraciones óptimas de los sistemas de amarre para diferentes tirantes de agua, porcentaje de desplazamiento lateral y longitud extra asociada a la pretensión.

Tabla 4.1. Configuración óptima del sistema de amarre.

Tirante de agua	Desplazamiento horizontal límite	Número de líneas	Ángulo de salida	Longitud extra (pretensión)	Diámetro		
					Cadena FC (m)	Fibra (m)	Cadena SC (m)
1,000 m	6%	3	47.78°	0.00 % Tirante	0.117	0.213	0.117
	8%	4	45.00°	0.02 % Tirante	0.102	0.185	0.102
1,500 m	6%	4	45.00°	0.00 % Tirante	0.090	0.168	0.087
	8%	4	45.00°	0.02 % Tirante	0.084	0.158	0.084
2,000 m	6%	3	46.42°	0.01 % Tirante	0.097	0.177	0.095
	8%	4	47.78°	0.02 % Tirante	0.081	0.151	0.078

El diagrama de la Figura 4.15 muestra en forma sucinta para la obtención de la configuración óptima del sistema de amarre para una plataforma semisumergible con una producción de 100 mbd, la cual es una guía para la obtención de la configuración óptima.

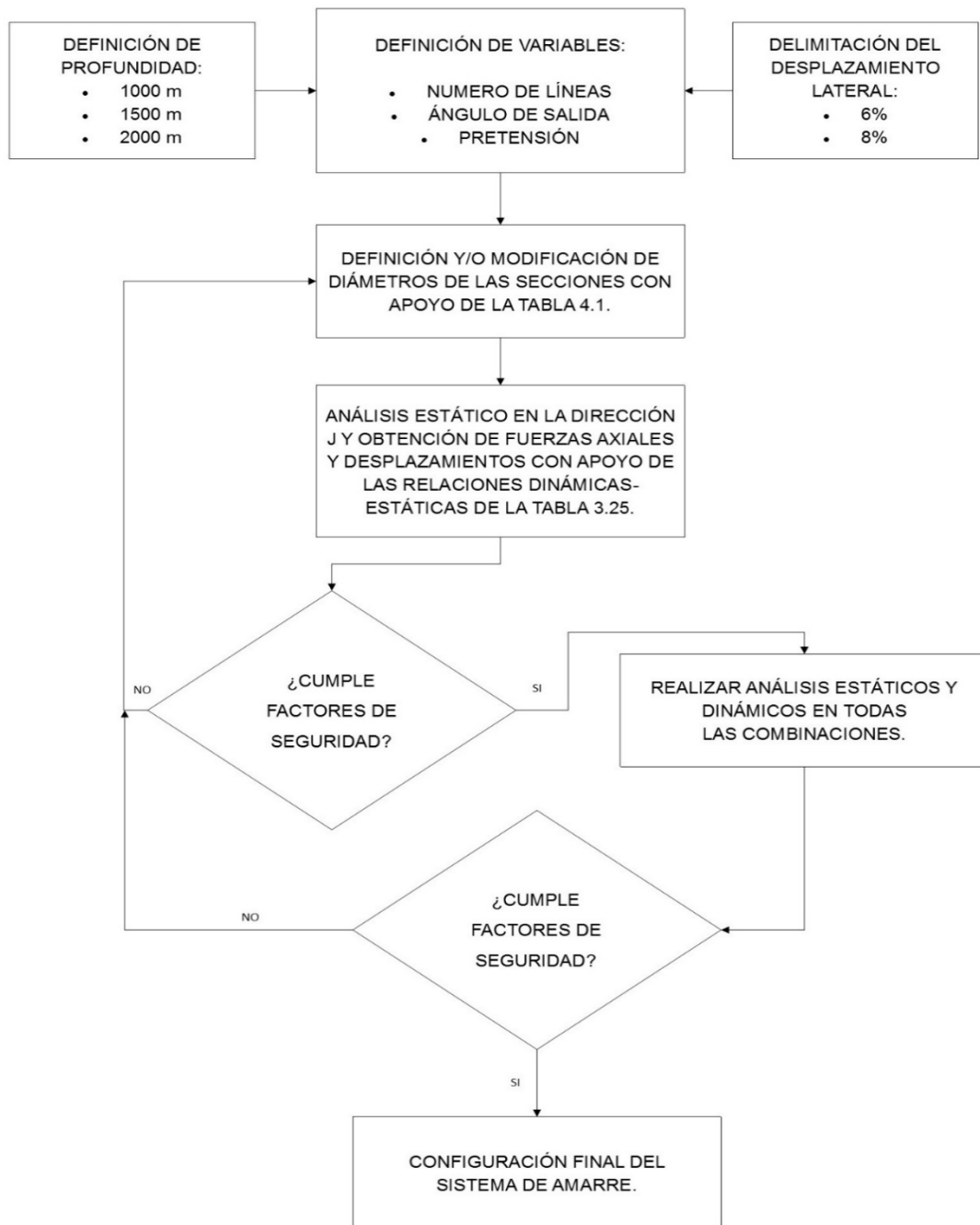


Figura 4.15. Diagrama de flujo de configuración óptima del sistema de amarre para una semisumergible con una producción de 100 mbpd.

Además de revisar el comportamiento de las líneas de amarre, se desea conocer el comportamiento de cada eslabón que conforma una cadena, debido a que se encuentran ante efectos de fatiga. En el capítulo siguiente, se presentan los factores de concentración de esfuerzos (FCE) obtenidos mediante análisis de elemento finito (FEM) en eslabones reforzados y no reforzados.

## 5 ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO DE ESLABONES DE CADENAS

### 5.1 Introducción

Las cadenas de acero son un material comúnmente utilizado en los sistemas de amarre, como se explica en el apartado 1.4.1, se utilizan principalmente en la zona de mareas y lecho marino debido a su mayor resistencia a la abrasión y corrosión. Por otra parte, las cadenas son elementos formados por eslabones. Estos son manufacturados con barras de acero rolado por medio de un proceso eléctrico, oxígeno base o algún otro proceso aprobado. Para su manufactura, la normatividad (Tabla 2.2) indica cinco grados de acero, R3, R3S, R4, R4S y R5. En la Tabla 5.1 se muestran las propiedades mínimas mecánicas para los diferentes grados.

Tabla 5.1. Propiedades mecánicas mínimas de las cadenas (Tabla E1 DNV-OS-302 [13]).

Grado de acero	Esfuerzo de fluencia $R_e$ N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la tensión $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Elongación A5 %	Reducción de área Z %	Prueba Charpy V-Notch		
					Temperatura °C	Energía promedio J	Energía única J
R3	410	690	17	50	0 -20	60 40	45 30
R3S	490	770	15	50	0 -20	65 45	49 34
R4	580	860	12	50	-20	50	38
R4S	700	960	12	50	-20	56	42
R5	760	1,000	12	50	-20	58	44

Los estándares de DNV garantizan que los eslabones cumplan con la resistencia necesaria ante fuerzas ambientales. Sin embargo, la mayoría de las fallas en las cadenas es frágil, aunque el acero estructural sea un material dúctil. Esto se debe, principalmente, por los efectos de fatiga.

La fatiga es un daño acumulado debido a cargas cíclicas a largo plazo, las cuales no necesariamente alcanzan el límite de ruptura del material. Por tal motivo, sus efectos son importantes, debido a que la vida por fatiga es difícil de predecir y los costos son elevados para monitoreo y detección de fracturas.



De acuerdo con el estudio ‘Fallas de Líneas de Anclaje Plataforma Continental de Noruega 2010-2014’ [28], uno de los principales tipos de falla en las cadenas es debido al daño por fatiga.

Los estándares de DNV incluyen revisiones que se deben considerar para determinar la vida por fatiga de los sistemas de amarre. Aunque en esta investigación, no se revisaron los sistemas de amarre ante fatiga, se calcularon factores de concentración de esfuerzos en los eslabones de las cadenas. Los esfuerzos raramente son uniformes debido a que el material no es homogéneo o tiene una geometría irregular. La concentración de esfuerzos se verá incrementada en las zonas cercanas a la irregularidad geométrica o al material no homogéneo. El factor de concentración de esfuerzos (FCE) es independiente de las propiedades del material; sin embargo, se basa en su geometría y carga. Este factor se define como la relación entre el máximo del primer esfuerzo principal y el esfuerzo nominal, tal como se define en la ecuación 5.1. El esfuerzo nominal se calculó como la tensión entre el área transversal de las dos barras que conforman el eslabón, ecuación 5.2.

$$FCE = \sigma_{1st} / \sigma_{nominal} \quad \text{Ec (5.1)}$$

$$\sigma_{nominal} = T / A_{eslabón} \quad \text{Ec (5.2)}$$

Bjørnsen, (Junio 2014) [25], comenta que el esfuerzo máximo en una concentración de esfuerzos es difícil de calcular analíticamente, pero los cálculos numéricos o pruebas experimentales ayudan en la determinación del esfuerzo, y cita: “Los factores de concentración de esfuerzo elástico son obtenidos de la teoría elástica, de soluciones numéricas, o de mediciones experimentales. El más común y más flexible método numérico es el método de los elementos finitos. Cuando se usa este método, para asegurar una precisión numérica es necesario un modelo con un mallado relativamente fino en áreas con gradientes de esfuerzos importantes [26]”.

De esta forma dar un seguimiento a la concentración de esfuerzos en un sólido durante un análisis de fatiga es importante. Un factor de concentración de esfuerzo modificado es usado para determinar la vida de servicio. Este factor de concentración de esfuerzos por fatiga es menor al factor de concentración de esfuerzo [27].

Cerkovnik et al. (2012) [29] identificaron los puntos de máxima concentración de esfuerzos para eslabones no reforzados, tal como se muestra en la Figura 5.1. Punto A, superficie interna de la cadena en la soldadura. Al igual que el punto C, se encuentra flexión debido a cargas de tensión. Punto B, superficie lateral de la cadena en la soldadura, dirección axial. De



la sección soldada, es el punto que recibirá el máximo esfuerzo debido a flexión fuera del plano. Punto C, superficie externa de la cadena en la soldadura, dirección axial. De la sección soldada, este punto recibe el máximo esfuerzo debido a flexión en el plano. Punto D, máximo intervalo de esfuerzo debido a flexión fuera del plano. Dirección del máximo intervalo de esfuerzo. Punto E, máximo intervalo de esfuerzo debido a flexión en el plano. Dirección del máximo valor absoluto del esfuerzo principal. Punto F, ubicación del máximo intervalo de esfuerzo debido a torsión. Y punto G, corona del eslabón. En este punto se observan los máximos esfuerzos cuando se realiza un análisis lineal por Elemento Finito.

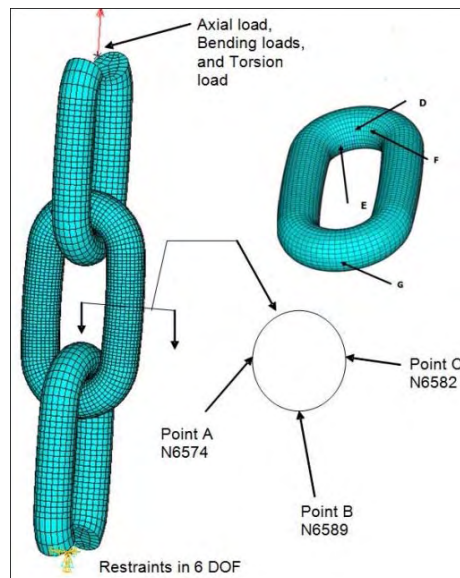


Figura 5.1. Ubicación de los principales esfuerzos.

## 5.2 Objetivo particular y alcances

El objetivo de los análisis con el método de los elementos finitos es obtener un factor de concentración de esfuerzo en un eslabón de cadena. Este eslabón interactúa con otros dos eslabones por medio de áreas de contacto con un coeficiente de fricción de 0.38.

Primeramente, se realizó el modelo geométrico en el programa AutoCAD, para después exportar a ANSYS, donde se realizó el mallado, y posteriormente, realizar su análisis. El modelo general para eslabones no reforzados se muestra en la Figura 5.2. El alcance del estudio se limita a las variables que se muestran en la Tabla 5.2. Dos tipos de eslabones, tres diámetros y tres grados de acero. Dichas variables y otras propiedades se muestran en la Tabla 5.2 con el que se tienen un total de 18 análisis.

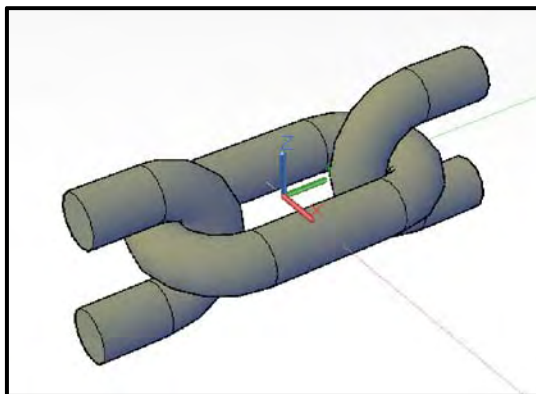
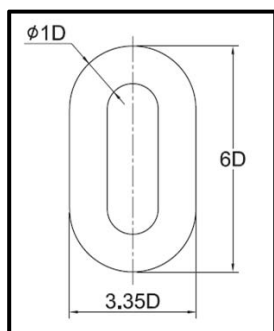


Figura 5.2. Modelo general de eslabones sin refuerzo en AutoCAD.

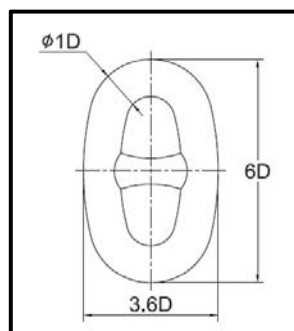
Tabla 5.2. Variables consideradas para determinar los factores de concentración de esfuerzos.

VARIABLE	CANTIDAD	VALOR		
TIPO DE ESLABÓN	2	STUDLESS		STUDLINK
GRADO DE ACERO	3	R3	R4	R5
DIÁMETRO	3	81 mm	100 mm	120 mm
MODULO DE ELASTICIDAD	1	210,000 N/mm <sup>2</sup>		
RELACIÓN DE POISSON	1	0.30		
COEFICIENTE DE FRICCIÓN ENTRE ACEROS, SUMERGIDO	1	0.38		
TOTAL DE ANÁLISIS	18			

Los grados de acero se indican en la Tabla 5.1, mientras que los diámetros se basan en el catálogo DAI HAN ANCHOR CHAIN MFG. CO., LTD. [20]. La Figura 5.3 muestra los dos tipos de eslabones a revisar, sin refuerzo (*studless*) y con refuerzo (*studlink*), así como las dimensiones indicadas por la normatividad.



(A) No reforzados



(B) Reforzados

Figura 5.3. Tipos de eslabones y características geométricas.

### 5.3 Estrategia de mallado

Se modeló en una versión estudiantil de ANSYS con elementos finitos tres eslabones que interactúan por medio de áreas de contacto. Para determinar el tamaño del mallado se realizaron análisis para eslabones sin refuerzo de 100 mm de diámetro ( $V=4980500 \text{ mm}^3$ ) en el intervalo elástico, con un desplazamiento asignado de 0.1 mm y un grado de acero R3.

Por simetría se modeló la mitad del modelo original. Se aplicaron restricciones por simetría en las caras cortadas, mientras que en un extremo se le aplicaron restricciones en las tres direcciones, y en el lado opuesto se le aplicó un desplazamiento determinado. En la Figura 5.4 se muestra un ejemplo de este modelo.

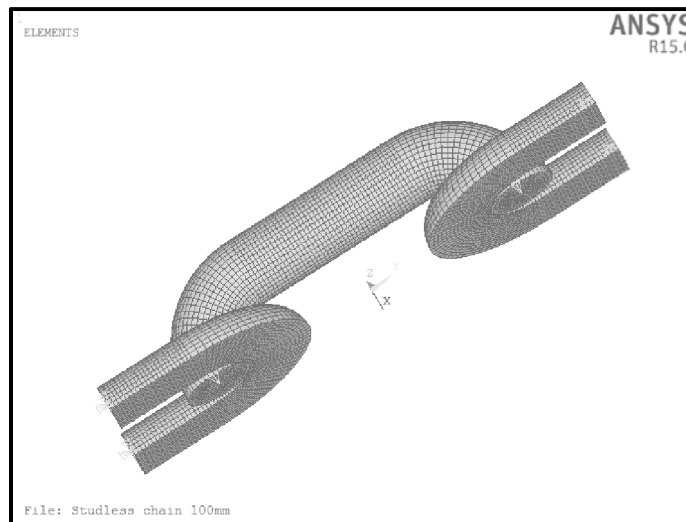


Figura 5.4. Imagen del modelo FEM utilizado para determinar la intensidad de mallado.

Se realizaron estudios de sensibilidad de malla a través del refinamiento de la malla, tal como se muestra en la Figura 5.5.

A partir de un elemento con volumen menor a  $120 \text{ mm}^3$  la carga aplicada para el desplazamiento de 0.1 mm se vuelve estable, lo que sugiere que a partir de un modelo con elementos menores a  $120 \text{ mm}^3$  la respuesta se vuelve estable.

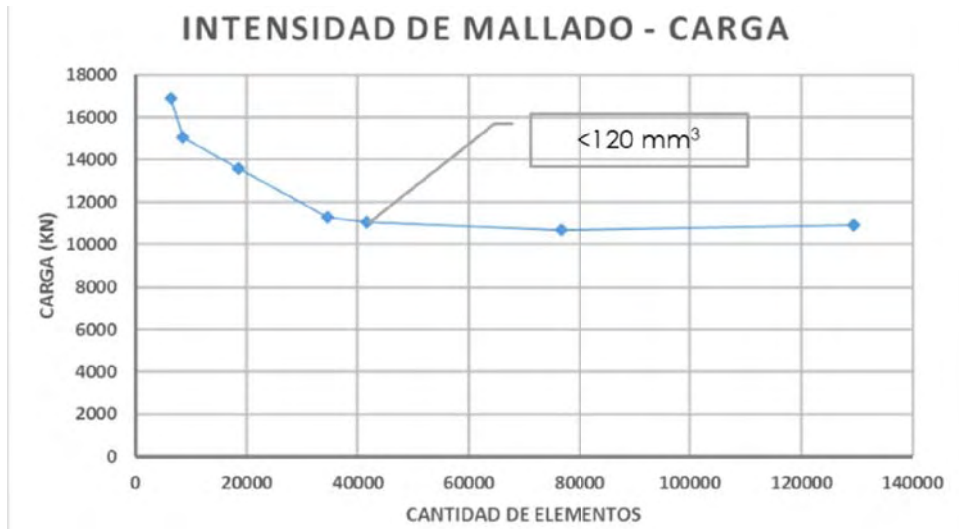


Figura 5.5. Convergencia de la respuesta, Carga-refinamiento de la malla.

#### 5.4 Modelos numéricos

Una vez determinadas las variables de los modelos y el refinamiento de la malla, se realizaron los 18 análisis mostrados en la Tabla 5.2. Para reducir el tiempo de análisis, se realizó solamente un cuarto del modelo propuesto. En las Figuras 5.6 y 5.7 se muestran los modelos FEM para eslabones no reforzados y reforzados, respectivamente.

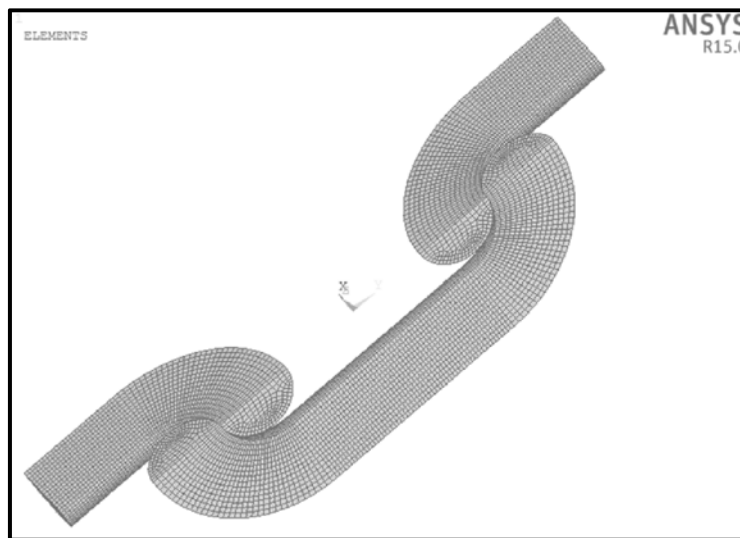


Figura 5.6. Modelo general de eslabones no reforzados.

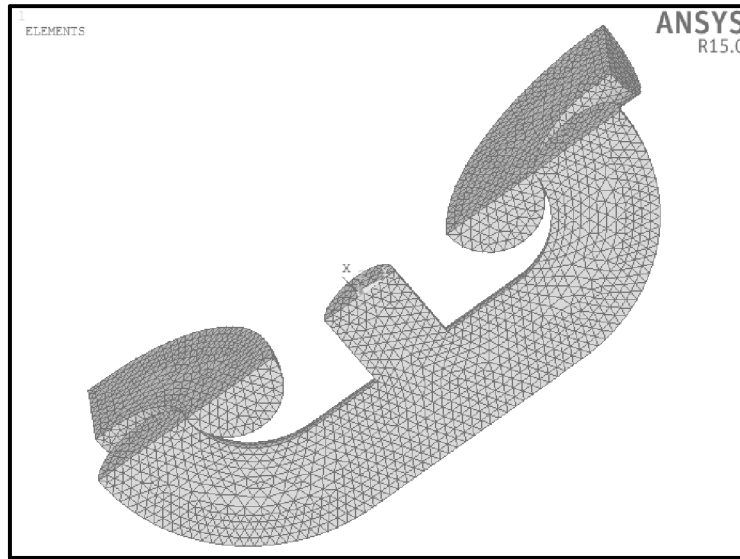


Figura 5.7. Modelo general de eslabones reforzados.

Para identificar los modelos se les asignó una nomenclatura de entre 8 y 9 caracteres. En la Tabla 5.3 se muestran los caracteres usados, así como una descripción breve de cada variable de acuerdo con la Tabla 5.2. Por ejemplo, para un modelo numérico para eslabones no reforzados, grado de acero R4 y un diámetro de 120 mm su descripción es SL-R4\_120.

Tabla 5.3. Descripción de la nomenclatura de los modelos para los análisis de los eslabones a través de elemento finito.

Tipo de eslabón			Grado de acero			Diámetro		
S	L	no reforzado	_R	3	R3	—	81	81 mm
	K	reforzado		4	R4		100	100 mm
				5	R5		120	120 mm

La Figura 5.8 muestra el diagrama de flujo del análisis de cada modelo de elemento finito. Primero se definen las variables del modelo de elemento finito, y se crea un archivo de entrada con las propiedades geométricas con ayuda de AutoCAD. Después, se genera el modelo numérico en ANSYS con ayuda de los archivos de entrada, geometría y material. A continuación, se genera el mallado, se crean los elementos de contacto y se definen desplazamientos. Para finalizar se analiza el modelo y se post-procesan los resultados.

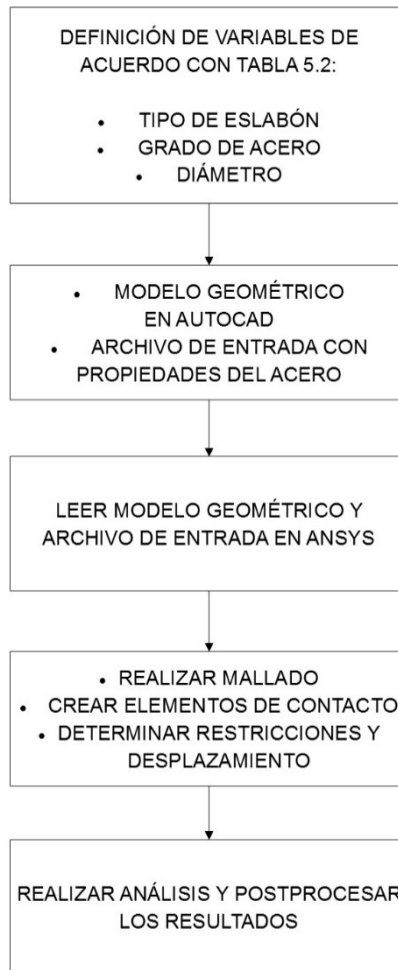


Figura 5.8. Diagrama de flujo del análisis de los modelos de elemento finito.

### 5.5 Resultados del análisis local a través de elemento finito.

Después de realizar cada caso de estudio de acuerdo con el algoritmo de la Figura 5.8, se obtuvieron los resultados de interés. A los eslabones no reforzados se les asignó un desplazamiento de 50 mm, mientras que a los eslabones reforzados fue de 100 mm, debido a que la falta de convergencia numérica, por parte del programa en eslabones no reforzados, permite alcanzar un desplazamiento mayor. Para la obtención de los resultados se aisló el eslabón central, como se muestra en la Figura 5.9. A continuación, se muestran los resultados obtenidos para un eslabón no reforzado y otro reforzado. En el ANEXO B se muestran las tablas resúmenes de cada modelo.

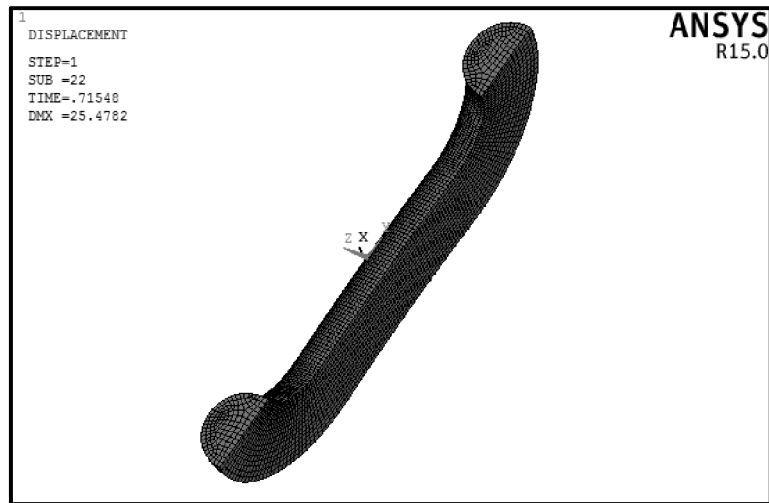


Figura 5.9. Aislamiento del eslabón en estudio, SL-R3\_81.

#### 5.5.1 Modelo SL\_R3\_81

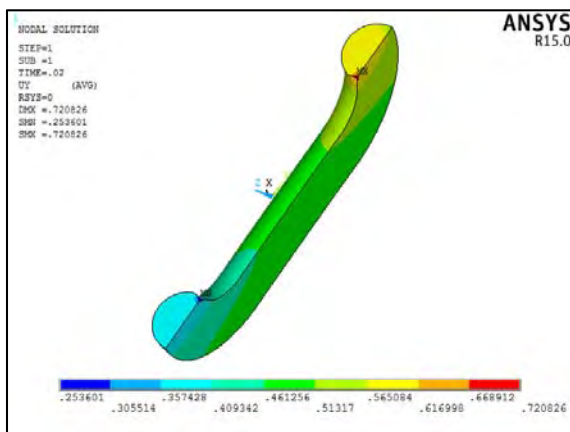
En la Tabla 5.4 se muestran los resultados de todos los incrementos de carga con su respectiva deformación relativa, carga, esfuerzo nominal, primer esfuerzo principal y el factor de concentración de esfuerzo para cada paso. En la Figura 5.10 se muestran siete pasos representativos de la deformación y el primer esfuerzo principal. Es posible observar que a partir del paso 11 (un 38% de la carga de ruptura), el máximo esfuerzo se presenta en la corona del eslabón, y el FCE se vuelve constante.

Tabla 5.4. Resultados del modelo SL\_R3\_81.

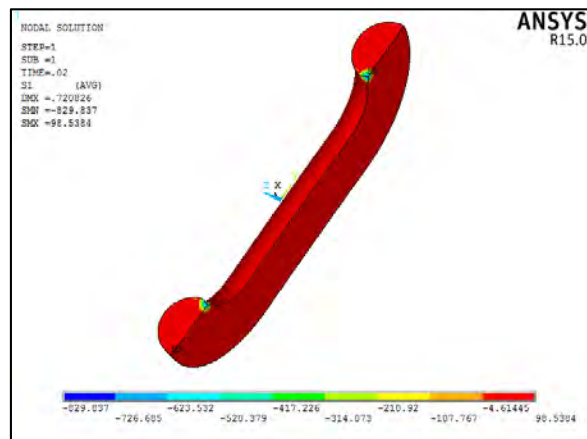
Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0	0
1	0.020	1.00	0.47	237.80	23.07	98.54	4.27
2	0.040	2.00	0.98	534.76	51.89	264.15	5.09
3	0.070	3.50	1.75	969.56	94.08	403.00	4.28
4	0.100	5.00	2.57	1340.64	130.08	453.34	3.48
5	0.130	6.50	3.52	1553.40	150.73	467.56	3.10
6	0.160	8.00	4.49	1694.64	164.43	480.88	2.92
7	0.205	10.25	5.93	1832.88	177.85	488.80	2.75
8	0.250	12.50	7.37	1931.76	187.44	491.64	2.62
9	0.318	15.88	9.53	2043.52	198.28	493.26	2.49
10	0.385	19.25	11.63	2143.84	208.02	495.34	2.38
11	0.486	24.31	14.83	2266.92	219.96	514.54	2.34



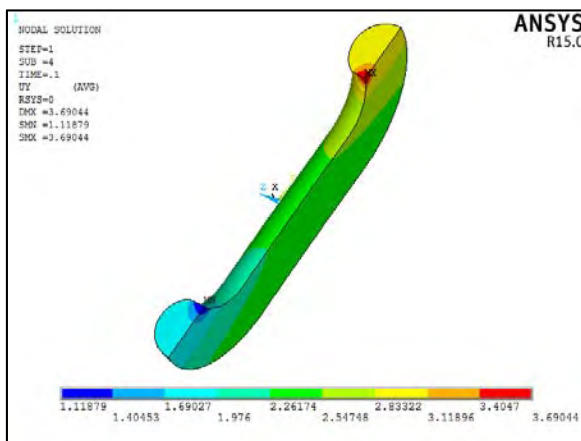
Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{\text{nominal}}$	$\sigma_{1st}$	
12	0.588	29.38	18.09	2358.52	228.85	532.60	2.33
13	0.689	34.44	21.25	2432.76	236.05	547.66	2.32
14	0.695	34.75	21.45	2437.32	236.50	548.56	2.32
15	0.701	35.07	21.65	2443.00	237.05	549.45	2.32
16	0.708	35.39	21.84	2446.40	237.38	550.29	2.32
17	0.709	35.47	21.90	2448.24	237.55	550.72	2.32
18	0.711	35.55	21.94	2448.28	237.56	550.74	2.32
19	0.712	35.62	21.99	2449.60	237.69	550.95	2.32
20	0.713	35.67	22.02	2450.20	237.75	551.09	2.32
21	0.714	35.72	22.05	2451.40	237.86	551.35	2.32
22	0.715	35.77	22.08	2452.08	237.93	552.00	2.32



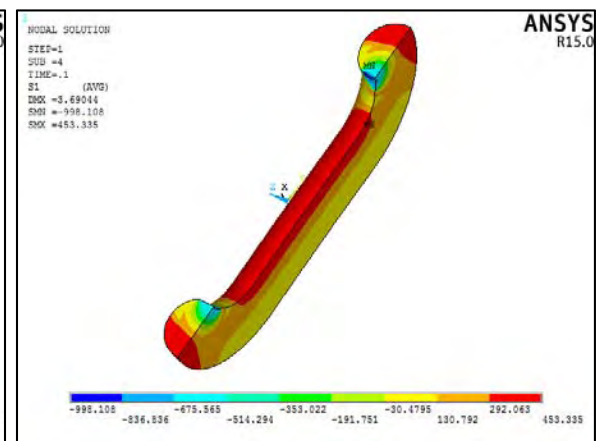
(a1) Deformación, paso 1



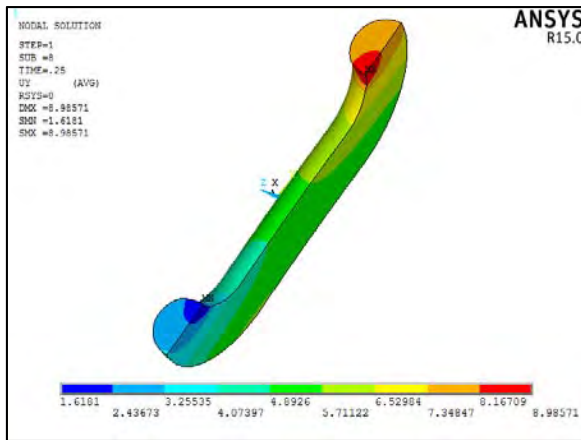
(a2) Esfuerzo principal, paso 1



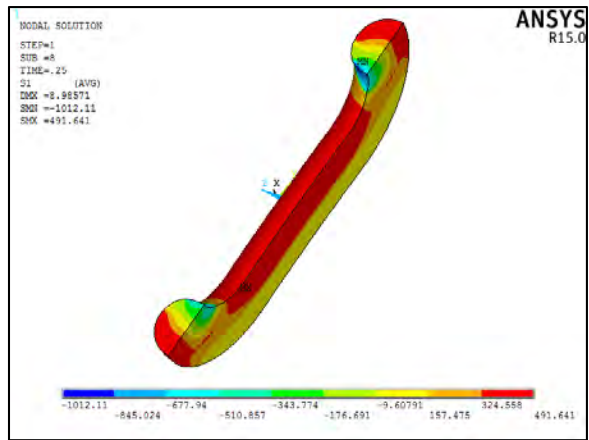
(b1) Deformación, paso 4



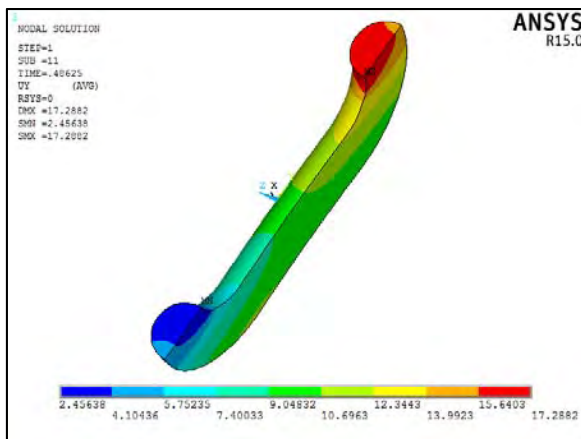
(b2) Esfuerzo principal, paso 4



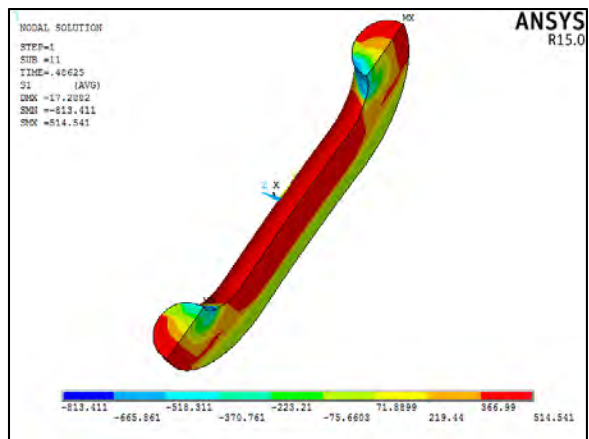
(c1) Deformación, paso 8



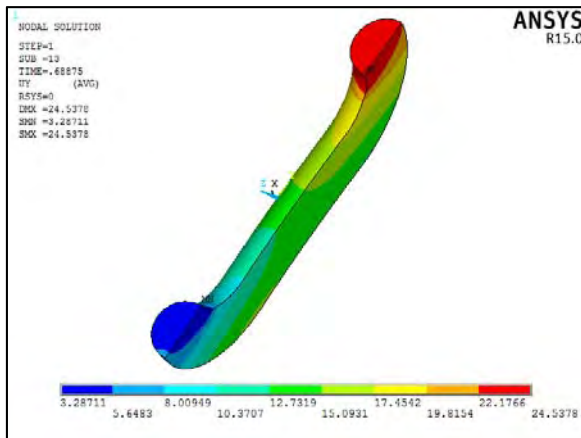
(c2) Esfuerzo principal, paso 8



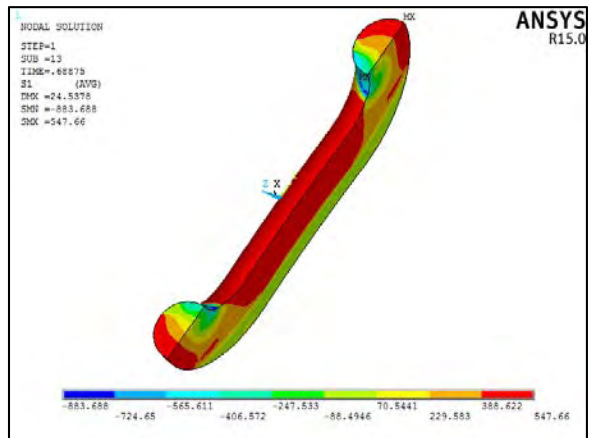
(d1) Deformación, paso 11



(d2) Esfuerzo principal, paso 11



(e1) Deformación, paso 13



(e2) Esfuerzo principal, paso 13

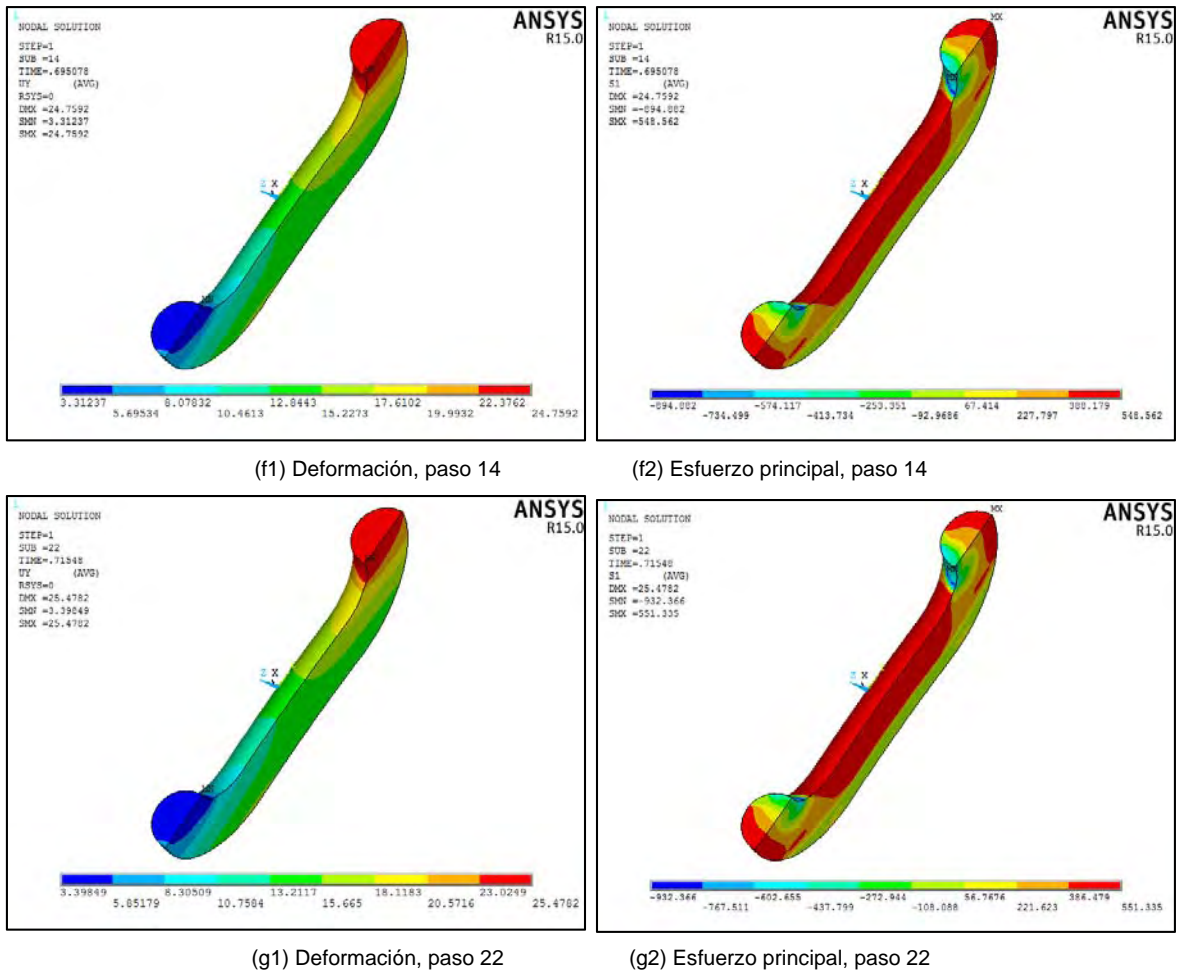


Figura 5.10. Deformaciones y primeros esfuerzos principales, SL\_R3\_81.

En la Figura 5.11 se muestra la curva de carga contra desplazamiento, en la que se tiene un comportamiento elástico lineal hasta los 1300 KN. Posteriormente, la rigidez decrece debido a que ya se alcanzó el esfuerzo de fluencia hasta tener un comportamiento elastoplástico. En la Figura 5.12 se grafica el factor de concentración de esfuerzo (FCE) contra la carga, en la que hasta una carga menor de 2300 KN, el factor de concentración de esfuerzo se comporta de manera lineal decremental, mientras que después de dicha carga, se comporta de manera constante. Al ser comparado el comportamiento previamente descrito con la ubicación del esfuerzo principal, se observó que cuando la relación se vuelve constante, el máximo primer esfuerzo principal se ubica en la corona del eslabón.

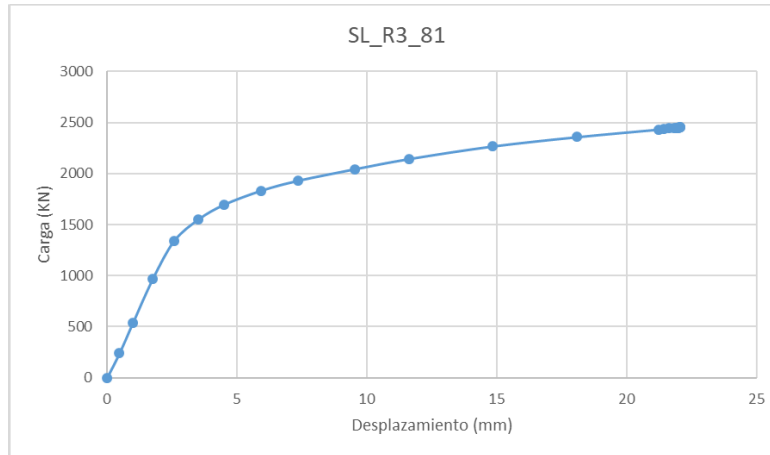


Figura 5.11. Curva carga-desplazamiento, SL\_R3\_81.

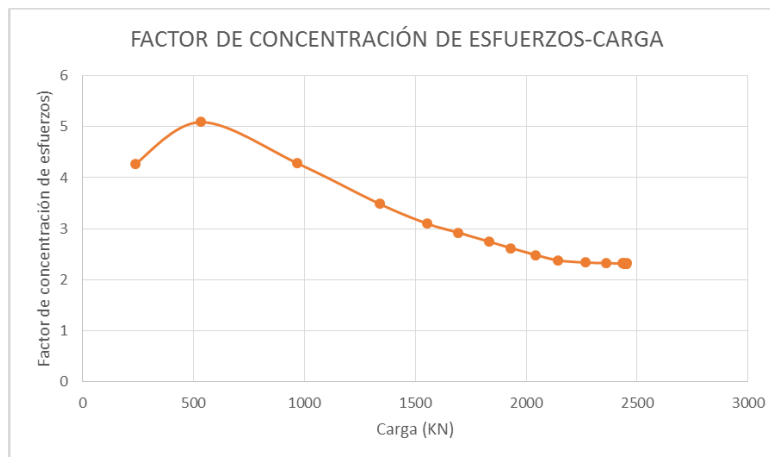


Figura 5.12. Curva carga-factor de concentración de esfuerzo, SL\_R3\_81.

Con base en lo anterior, se propone una curva bilineal que represente las relaciones entre la carga y el factor de concentración de esfuerzo por el método de mínimos cuadrados. La función lineal por el método de mínimos cuadrados se indica en la ecuación 5.3.

$$y = a_0 + a_1x \quad \text{Ec (5.3)}$$

Donde:

$$a_0 = \frac{\sum(y_i)}{n} - \frac{a_1 \sum(x_i)}{n}$$

$$a_1 = \frac{n\sum(x_i*y_i) - \sum(x_i)\sum(y_i)}{n\sum(x_i^2) - (\sum x_i)^2}$$

n: número de datos

La Tabla 5.5 presenta los valores de la primera sección de la curva carga-primer esfuerzo principal, para la obtención de las constantes  $a_0$  y  $a_1$  de la función de mínimos cuadrados.

Tabla 5.5. Primera sección curva carga-primer esfuerzo principal, SL\_R3\_81.

Paso	xi Carga (KN)	yi Factor de concentración de esfuerzo	xi*yi	xi <sup>2</sup>
1	534.76	5.09	2722.37	285968.26
2	969.56	4.28	4153.30	940046.59
3	1340.64	3.48	4672.07	1797315.61
4	1553.40	3.10	4818.69	2413051.56
5	1694.64	2.92	4955.99	2871804.73
6	1832.88	2.75	5037.54	3359449.09
7	1931.76	2.62	5066.85	3731696.70
8	2043.52	2.49	5083.49	4175973.99
9	2143.84	2.38	5104.93	4596049.95
10	2266.92	2.34	5302.86	5138926.29
11	2358.52	2.33	5488.93	5562616.59
$\Sigma$	18670.44	33.79	52407.01	34872899.36
N	11			
$a_1$	-0.0016			
$a_0$	5.7112			

Después de la carga de 2300 KN la línea tiene un valor constante de 2.32. En cada sección de la curva, ajustada con las constantes presentadas en la Tabla 5.6 el esfuerzo máximo se presenta en secciones específicas, tal como se muestra en la Figura 5.13. Se observa que para cargas menores a 2300 KN el esfuerzo se ubica en la sección A-A', mientras que para cargas mayores de 2300 KN se localiza en la sección B-B'.

Tabla 5.6. Valores de constantes para la curva carga-factores de concentración de esfuerzos, SL\_R3\_81.

Sección	$a_0$	$a_1$	Ubicación del máximo primer esfuerzo principal
Primera	5.71	-0.0016	PUNTO B
Segunda	2.32	0.00	PUNTO A

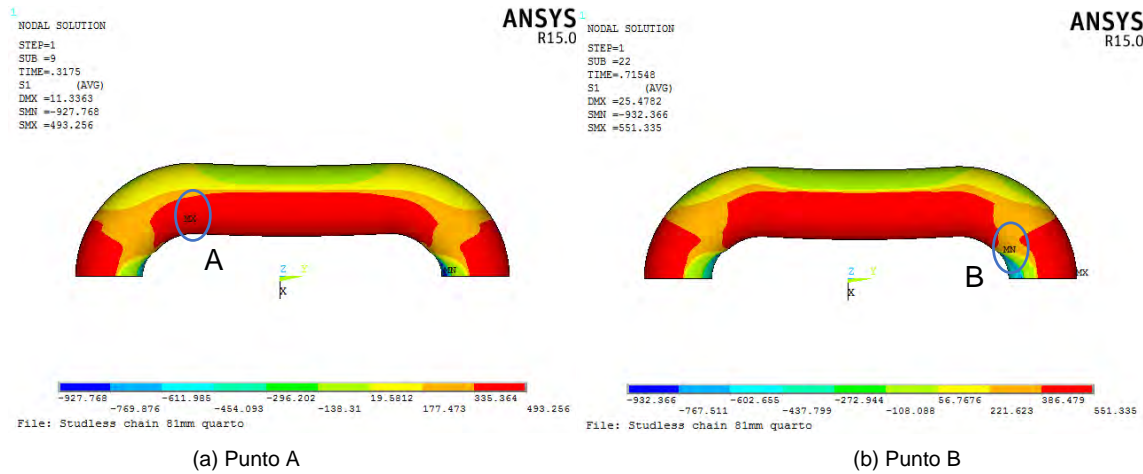


Figura 5.13. Puntos A y B en eslabones no reforzados.

La curva bilineal obtenida se grafica hasta la carga de ruptura indicada en la tabla C1 del estándar DNV-OS-302 [13]. Los valores de las cargas de prueba y de ruptura de acuerdo con el estándar mencionado, se indican en la Tabla 5.7, y se muestra gráficamente en la Figura 5.14.

Tabla 5.7. Valores de carga de prueba en KN y de ruptura de acuerdo al grado de acero.

Carga	Grado R3	Grado R4	Grado R5
PRUEBA, STUDLINK	$0.0156d^2(44-0.08d)$	$0.0216d^2(44-0.08d)$	$0.0251d^2(44-0.08d)$
PRUEBA, STUDLESS	$0.0156d^2(44-0.08d)$	$0.0192d^2(44-0.08d)$	$0.0223d^2(44-0.08d)$
RUPTURA – P(Ø)	$0.0223d^2(44-0.08d)$	$0.0274d^2(44-0.08d)$	$0.0320d^2(44-0.08d)$
d es el diámetro nominal de la cadena			

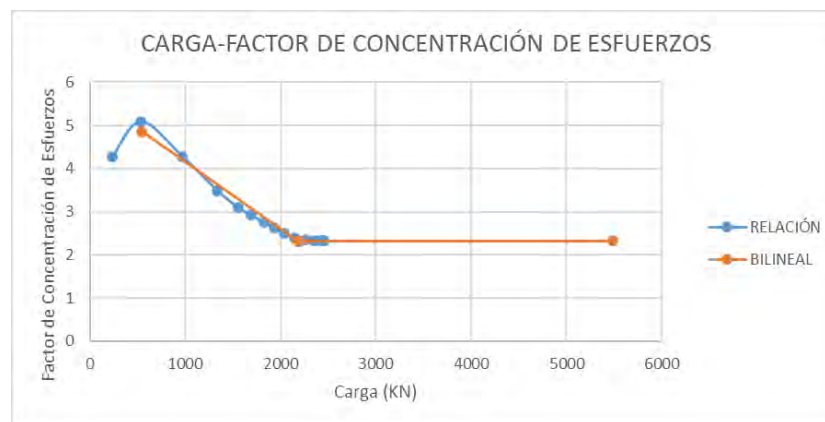


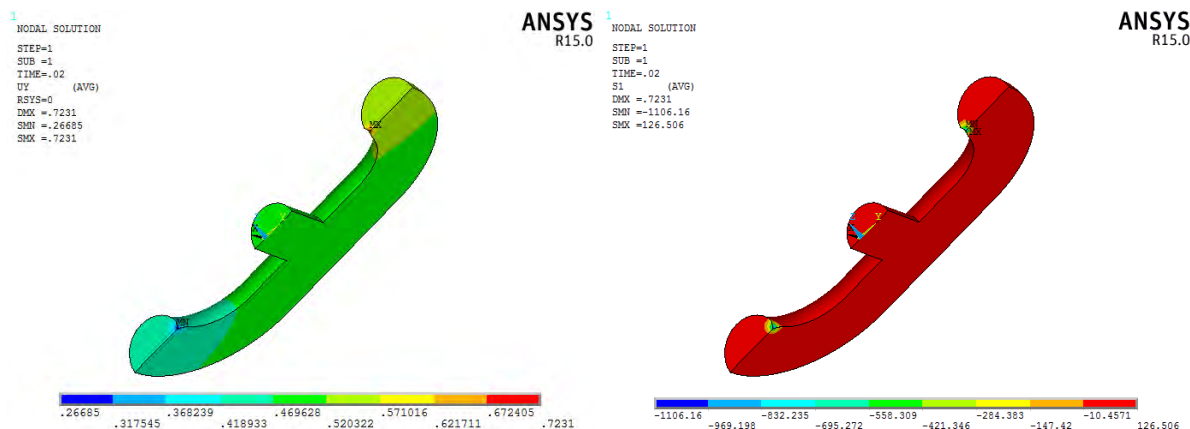
Figura 5.14. Curvas carga-factor de concentración de esfuerzo, SL\_R3\_81.

### 5.5.2 Modelo SK\_R3\_81

En la Tabla 5.8 se muestran los resultados de todos los incrementos de carga con su respectiva deformación relativa, carga y esfuerzo principal. En la Figura 5.15 se muestran seis pasos representativos de la deformación y el primer esfuerzo principal. Se observa que a partir del paso 6 (un 28% de la carga de ruptura), el FCE se vuelve casi constante y el esfuerzo máximo se presenta en la curva interna del eslabón.

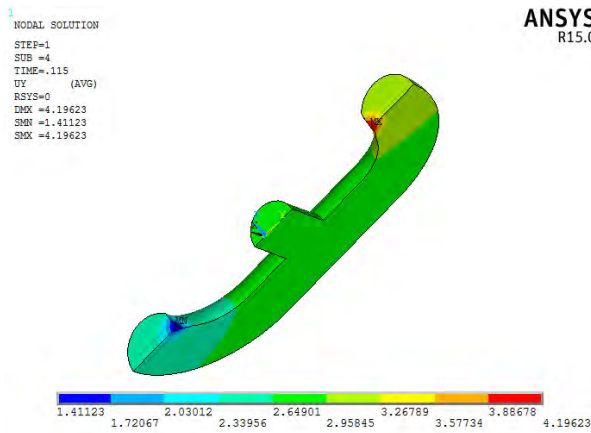
Tabla 5.8. Resultados del modelo SK-R3\_81.

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0	
1	0.020	1.00	0.34	135.60	13.16	126.51	9.61
2	0.040	2.00	0.65	296.36	28.76	207.08	7.20
3	0.070	3.50	1.12	603.00	58.51	378.09	6.46
4	0.115	5.75	1.77	1093.96	106.15	452.37	4.26
5	0.160	8.00	2.26	1422.76	138.05	469.54	3.40
6	0.228	11.38	2.82	1586.72	153.96	525.82	3.42
7	0.329	16.44	3.81	1719.92	166.89	596.17	3.57
8	0.430	21.50	5.10	1819.28	176.53	635.25	3.60
9	0.506	25.30	6.43	1884.92	182.90	637.18	3.48
10	0.582	29.09	7.98	1941.00	188.34	696.80	3.70
11	0.696	34.79	10.39	2001.28	194.19	708.29	3.65
12	0.810	40.48	12.92	2054.84	199.38	700.21	3.51
13	0.905	45.24	15.05	2097.56	203.53	726.94	3.57
14	1.000	50.00	17.23	2137.88	207.44	767.00	3.70

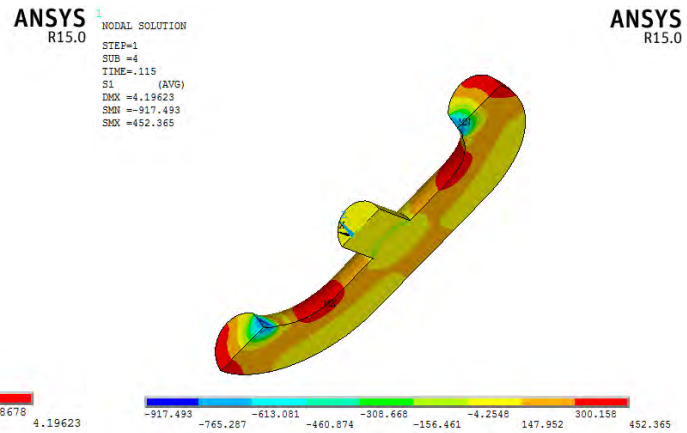




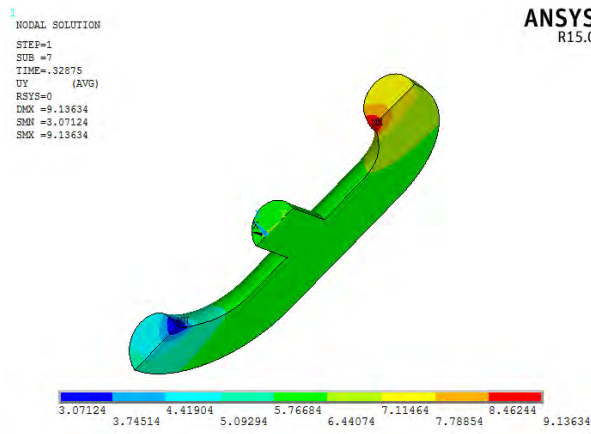
(a1) Deformación, paso 1



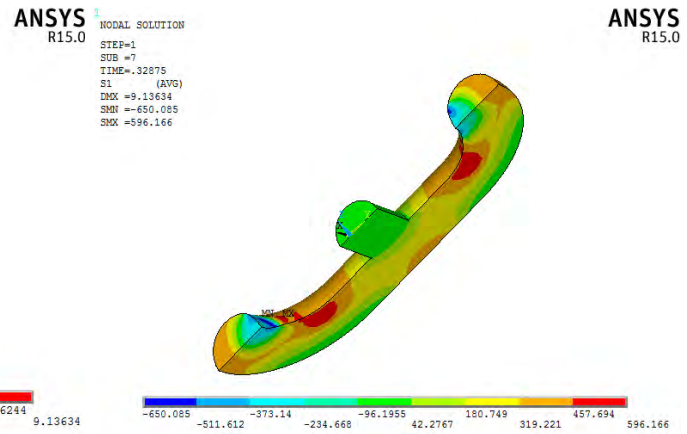
(a2) Esfuerzo principal, paso 1



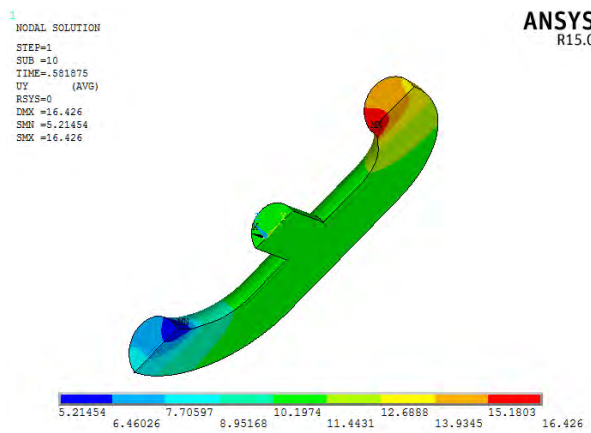
(b1) Deformación, paso 4



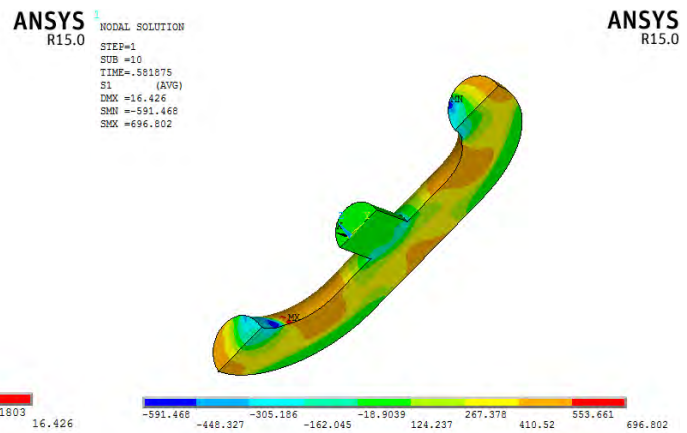
(b2) Esfuerzo principal, paso 4



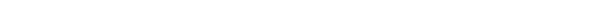
(c1) Deformación, paso 7



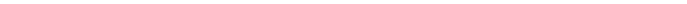
(c2) Esfuerzo principal, paso 7



(d1) Deformación, paso 10



(d2) Esfuerzo principal, paso 10



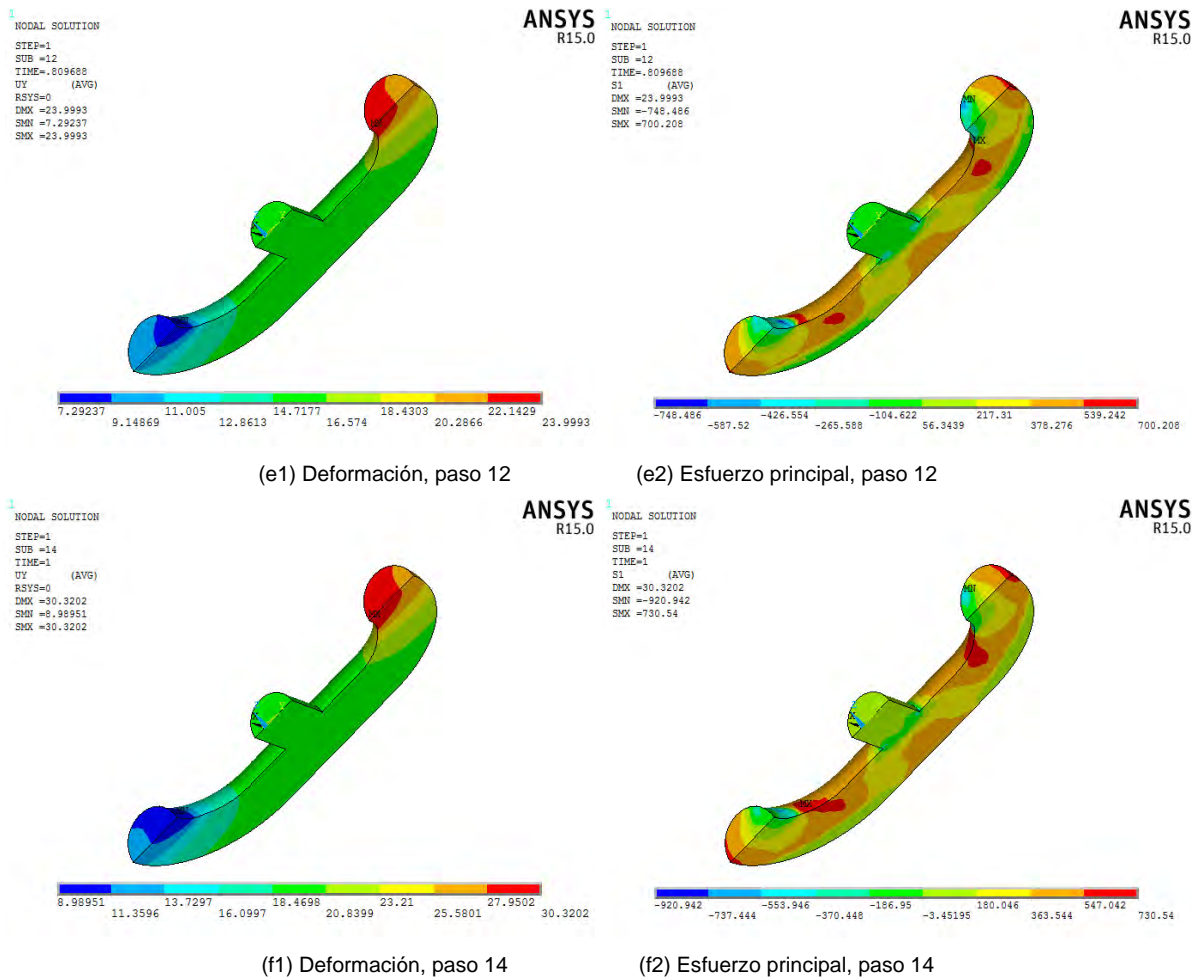


Figura 5.15. Deformaciones y primeros esfuerzos principales, SK\_R3\_81.

En la Figura 5.16 se muestra la curva de carga contra desplazamiento, en la que se tiene un comportamiento elástico lineal hasta los 1400 KN. Posteriormente, la rigidez decrece debido a que ya se alcanzó el esfuerzo de fluencia hasta tener un comportamiento elastoplástico. En la Figura 5.17 se grafica el FCE contra la carga, en la que hasta una carga menor de 1,500 KN, la relación de esfuerzos se comporta de manera lineal decremental, mientras que después de dicha carga, se comporta de manera casi constante. Al ser comparado el comportamiento previamente descrito con la ubicación del esfuerzo principal, se observó que cuando la relación se vuelve constante, el máximo primer esfuerzo principal se ubica en la sección de la curva interna.

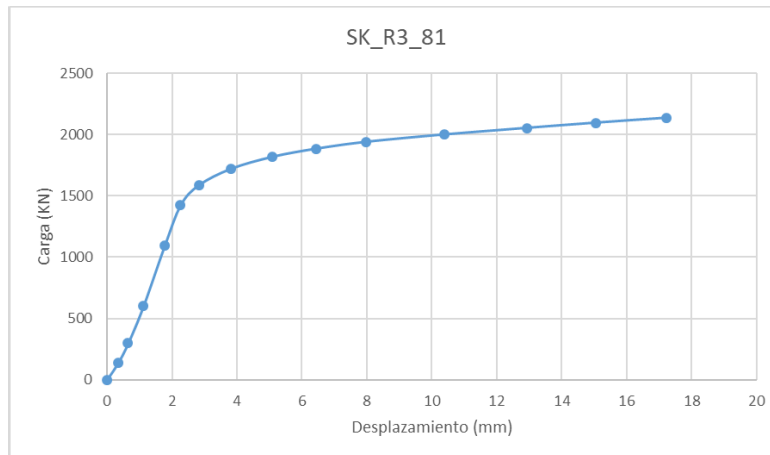


Figura 5.16. Curva carga-desplazamiento, SK\_R3\_81.

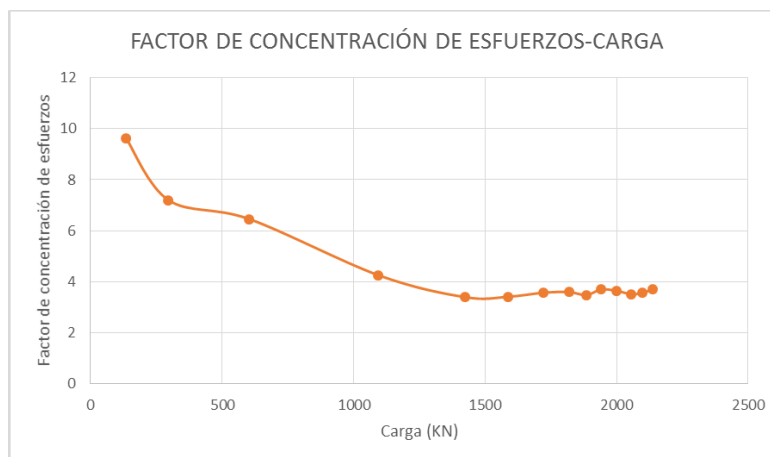


Figura 5.17. Curva carga-factor de concentración de esfuerzo, SK\_R3\_81.

Se propone una curva bilineal que represente las relaciones entre la carga y el factor de concentración de esfuerzo por el método de mínimos cuadrados. La función lineal por el método de mínimos cuadrados se indica en la ecuación 5.3. La Tabla 5.9 presenta los valores de la primera sección de la curva carga-primer esfuerzo principal, para la obtención de las constantes  $a_0$  y  $a_1$  de la función de mínimos cuadrados.

Tabla 5.9. Primera sección curva carga-primer esfuerzo principal, SK\_R3\_81.

Paso	xi Carga (kN)	yi Factor de concentración de esfuerzo	xi*yi	xi <sup>2</sup>
1	135.60	9.61	1303.77	18388.44
2	296.36	7.20	2134.14	87831.62
3	603.00	6.46	3896.54	363609.00
4	1093.96	4.26	4662.07	1196748.48

Paso	xi Carga (KN)	yi Factor de concentración de esfuerzo	xi*yi	xi <sup>2</sup>
5	1422.76	3.40	4839.05	2024246.02
$\Sigma$	3551.69	30.94	16835.57	3690823.56
n	5			
a <sub>1</sub>	-0.0044			
a <sub>0</sub>	9.3158			

Después de la carga de 1400 KN la línea se comporta de manera incremental con una pendiente mínima. En cada sección de la curva, el esfuerzo máximo se presenta en secciones específicas. Antes de los 1400 KN se ubica en la sección C-C', mientras que después de los 1400 KN se ubica en la sección D-D'. Las constantes de las dos líneas se presentan en la Tabla 5.10, y la identificación de las secciones se presenta en la Figura 5.18.

Tabla 5.10. Valores de constantes para ajuste de la curva carga-factores de concentración de esfuerzos, SL\_R3\_81.

Sección	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	Ubicación del máximo primer esfuerzo principal
Primera	9.3158	-0.0044	PUNTO D
Segunda	3.56	0.00	PUNTO C

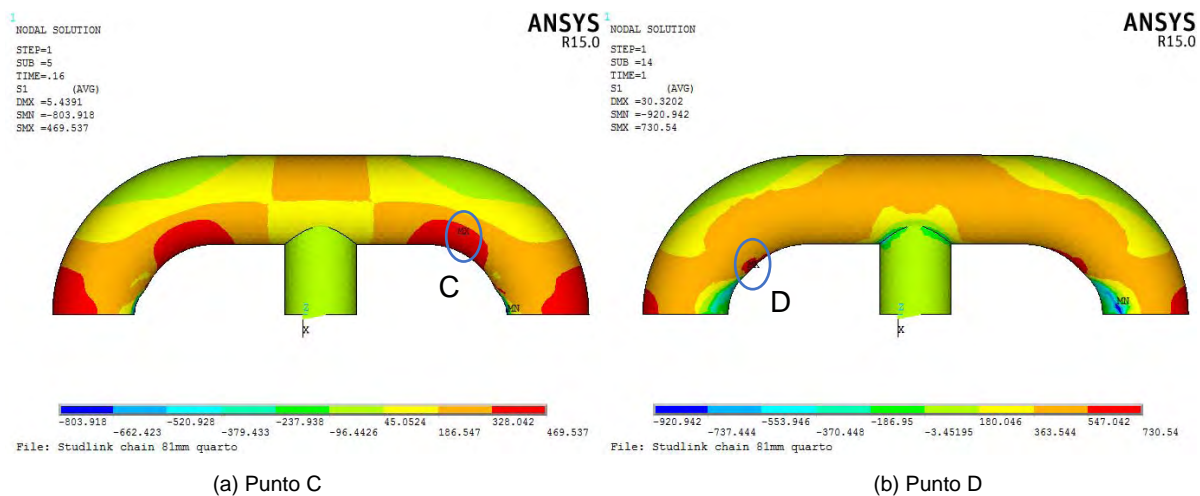


Figura 5.18. Puntos C y D en eslabones reforzados.

La curva bilineal obtenida se grafica hasta la carga de ruptura indicada en la tabla C1 del estándar DNV-OS-302. Los valores de las cargas de prueba y de ruptura de acuerdo con el estándar mencionado, se indican en la Tabla 5.7. La curva carga-factor de concentración de

esfuerzo obtenida del análisis y la curva bilineal obtenida por el método de mínimos cuadrados se presentan en la Figura 5.19. Se observa que la curva bilineal de ajuste serviría para calcular los factores de concentración de esfuerzos para cargas mayores a las analizadas.

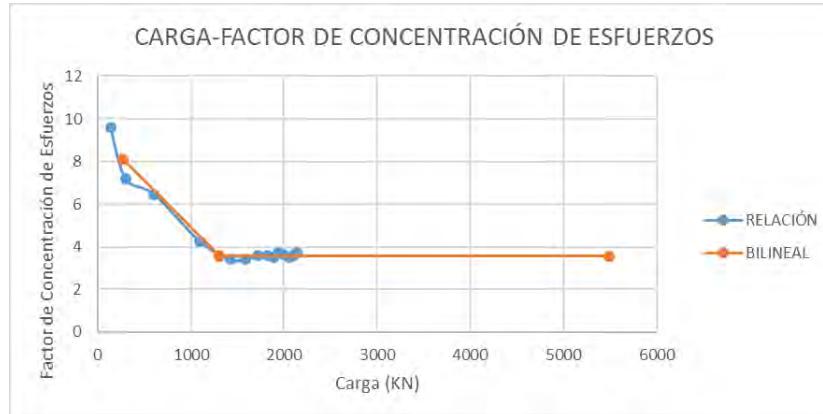


Figura 5.19. Curvas carga-factor de concentración de esfuerzo, SK\_R3\_81.

## 5.6 Factor de concentración de esfuerzos

El Factor de concentración de esfuerzos (FCE) es la relación entre el primer esfuerzo principal y el esfuerzo nominal debido a una carga de Tensión (véase Ecuación 5.1). Conforme los resultados de la sección anterior, se observa que la ubicación de los máximos esfuerzos es constante de acuerdo con el tipo de eslabón. En la Figura 5.20 se localizan los principales puntos de concentración de esfuerzos a tensión para cada tipo de eslabón estudiado en este trabajo. El detalle de los resultados obtenidos de los diferentes casos de estudio se presenta en el ANEXO B.

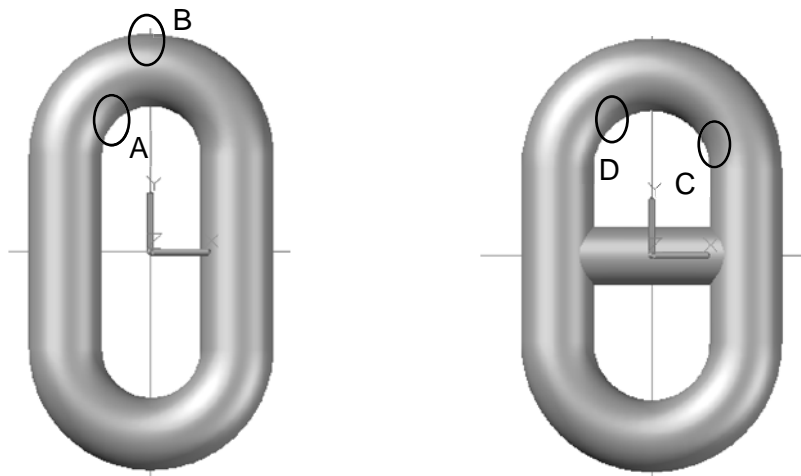


Figura 5.20. Localización de los principales puntos de concentración de esfuerzos en eslabones.

De los resultados obtenidos para eslabones no reforzados, se delimitó el porcentaje de carga de ruptura y el primer esfuerzo principal a partir del cual el FCE se vuelve constante. Sin embargo, debido a problemas de no convergencia en los análisis, para algunos casos no se logró identificar un FCE constante. Los valores del FCE que se presentan después del porcentaje de carga delimitado, aproximadamente mayor a 25%, los cuales se comportan de manera constante, se presentan en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11. Factores de concentración de esfuerzos para eslabones no reforzados.

Grado acero	Diámetro	Carga de ruptura	Factor de concentración de esfuerzo		
			$\sigma_{1st}$ (N/mm <sup>2</sup> )	% carga	FCE punto A
R3	81	5490	>495	>38%	2.32
	100	8028	>492	>38%	2.40
	120	11047	>493	>40%	-
R4	81	6745	>711	>45%	2.33
	100	9864	>700	>45%	2.40
	120	13573	>701	>45%	2.38
R5	81	7877	>920	>52%	2.29
	100	11520	>917	>52%	-
	120	15852	>915	>52%	-

Para el caso de eslabones reforzados, se logró obtener constante el factor de concentración de esfuerzos. En la Tabla 5.12 se muestra el porcentaje de carga y el primer esfuerzo principal a partir del cual el factor de concentración de esfuerzos es constante.

Tabla 5.12. Factores de concentración de esfuerzos para eslabones reforzados.

Grado acero	Diámetro	Carga de ruptura	Factor de concentración de esfuerzo		
			$\sigma_{1st}$ (N/mm <sup>2</sup> )	% Carga	FCE punto C
R3	81	5490	>460	>24%	3.56
	100	8028	>490	>38%	2.72
	120	11047	>470	>34%	2.79
R4	81	6745	>670	>37%	2.71
	100	9864	>660	>38%	2.65
	120	13573	>680	>43%	2.75
R5	81	7877	>890	>43%	2.65
	100	11520	>915	>48%	2.68
	120	15852	>890	>46%	2.62

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Sistemas de amarre

El objetivo de esta investigación es proponer una configuración óptima del sistema de amarre de unidades flotantes para la producción de hidrocarburos en aguas profundas del Golfo de México. En particular, este trabajo se realizó el estudio del sistema de amarre para una plataforma tipo semisumergible para tres tirantes de agua diferentes.

El sistema de amarre es la configuración estructural que mantiene a un Sistema Flotante de Producción (SFP) en una localización determinada dentro de un intervalo de desplazamientos permisibles que garantice la integridad estructural del SFP y de sus componentes (e.g. *risers*, umbilicales, equipos de cubierta, entre otros). El principal componente del sistema de amarre son las líneas de amarre que se encuentran ancladas al lecho marino. Estas líneas se componen de cadenas de acero, cables de fibras metálicas o sintéticas, o bien la combinación de estos materiales.

Por seguridad, en la construcción de las líneas de amarre se recomienda usar cadenas de acero en la zona de marea y lecho marino, debido a su mayor resistencia a la abrasión, corrosión y crecimiento de vida marina comparada con cables de fibras metálicas o sintéticas. Así mismo, las cadenas de acero proporcionan mayor peso propio al sistema de amarre, lo que incrementa la fuerza de restitución y disminuye el desplazamiento horizontal del SFP.

Los cables de acero y de fibras sintéticas, se recomiendan para disminuir el peso propio de la línea de amarre, y consecuentemente el costo del sistema de amarre. Sin embargo, se debe tomar en cuenta su protección ante la abrasión, corrosión y crecimiento de vida marina.

El presente estudio del sistema de amarre se revisó ante cargas estáticas y dinámicas, tal como se indica en la práctica internacional recomendada, API-RP-2SK [6], tanto en la condición intacta como en la dañada. Por simetría, solo se consideraron 12 direcciones de análisis ante fuerzas ambientales, las cuales corresponden a la zona oeste del Golfo de México consideradas en el API-2INT-MET [11]. La configuración de la línea de amarre se conformó por tres secciones: cadenas de acero en la zona de mareas (15% longitud) y del lecho marino (25% longitud), y fibra sintética en la sección intermedia (60% longitud). Para el diseño del sistema de amarre fueron consideradas las siguientes variables: 1) número de líneas por columnas, 2) ángulo de salida con respecto a la vertical y 3) la pretensión en función de la longitud de la línea en relación con el punto de amarre en la plataforma y el punto de anclaje.



Del análisis de resultados de los diferentes casos de estudio desarrollados en este trabajo, es posible destacar los siguientes comportamientos del sistema de amarre:

- Para un mayor tirante de agua, se requirió un menor diámetro nominal para las secciones de cadena y fibra sintética. Esto se debe a que la componente dinámica de las fuerzas de tensión disminuye. Sin embargo, la longitud de la línea se incrementa y por lo tanto la fuerza de restitución es menor.
- Para mayor cantidad de líneas de amarre por columna, el sistema de amarre tendrá mayor rigidez, menor desplazamiento horizontal del SFP y un menor peso, debido a que las fuerzas de tensión en las líneas son menores que en el caso de considerar un menor número de líneas por columna. Sin embargo, esto no necesariamente representa la mejor condición costo-beneficio, pues es necesario considerar una comparación de los costos incluyendo los pilotes de anclaje y su instalación.
- Para un mayor ángulo de salida de la línea de amarre, la fuerza de tensión actuante de la línea disminuye, y el desplazamiento horizontal de la plataforma es menor.
- Para una disminución de la pretensión, es decir, un incremento en la longitud de la línea con respecto a la distancia entre los puntos de amarre y de anclaje, la tensión actuante es menor, sin embargo, el desplazamiento horizontal del SFP aumenta.
- Un incremento de longitud de las líneas de amarre entre el 1% y 2% del tirante de agua, no se traduce en una reducción importante en las fuerzas de tensión de las líneas. Sin embargo, el incremento del desplazamiento horizontal del SFP es significativo.

De los resultados obtenidos se propuso una configuración óptima del sistema de amarre para los diferentes tirantes de agua considerados en este estudio y para los dos límites establecidos del máximo desplazamiento horizontal permitido, mismas que se presentaron en la Tabla 4.1. Para el desarrollo de esta optimización se propuso en este trabajo una metodología de análisis presentada en el Capítulo 3 y esquematizada en la Figura 2.14. Del análisis de resultados de los casos de estudio indicados en esta tesis es posible resaltar:

- Los análisis dinámicos rigen el diseño de los sistemas de amarre, ya que los factores de seguridad obtenidos del análisis dinámico son más cercanos a los factores de seguridad indicados en el API-RP-2SK [6].
- Las combinaciones de carga más desfavorables para el análisis de las fuerzas de tensión dinámica es cuando el viento o el oleaje se presentan al 100%.

- Se observó que existe una relación de las fuerzas de tensión y desplazamientos entre los análisis dinámicos y estáticos, las cuales sirven para obtener diseños preliminares, lo que representa una reducción de tiempo y recurso computacional.

## 6.2 Factores de concentración de esfuerzos

El Factor de Concentración de Esfuerzos (FCE) es un valor que nos permite calcular el esfuerzo máximo en una región del modelo con base en el esfuerzo nominal del modelo.

Dentro de los objetivos de este trabajo es obtener un FCE para el primer esfuerzo principal de un eslabón reforzado (*studlink*) y no reforzado (*studless*) ante una carga de tensión. Para alcanzar este objetivo, se realizaron análisis de Elemento Finito con el software ANSYS considerando tres eslabones con una interacción de áreas de contacto, dos tipos de eslabones (*studlink* y *studless*), tres grados de acero (R3, R4 y R5), y tres diámetros (81, 100 y 120 mm). De los resultados de estos análisis se observó que el FCE es constante y el área donde se presenta está delimitada a partir de que el primer esfuerzo principal mayor supera al esfuerzo de fluencia. Para eslabones no reforzados, se presenta en la corona del eslabón, y en cadenas con eslabones reforzados, se presenta en la superficie interna de la zona curva del eslabón (véase Figura 5.20).

## 6.3 Trabajos futuros

Los resultados y las configuraciones obtenidas se limitan a una plataforma tipo semisumergible con una producción establecida, y un análisis determinístico de los resultados. Por tal motivo, como trabajos futuros se plantea:

- Analizar distintos niveles de producción de plataformas tipo semisumergibles.
- Optimizar la longitud de cadenas y fibras sintéticas.
- Aplicar combinaciones ambientales en aguas territoriales nacionales del Golfo de México, siempre que se tenga acceso a información.
- Análisis con otras combinaciones ambientales.
- Comparar el comportamiento de los eslabones reforzados (*studlink*) con los no reforzados (*studless*), incluyendo el análisis de fatiga
- Incluir otros materiales de fibras sintéticas avanzadas (e.g. HMPE, Aramidas).
- Incluir la no linealidad de la fibra sintética.

Con respecto al FCE, se propone:

- Realizar experimentalmente este análisis, y modelarlo numéricamente para comparar resultados.

- Revisar los modelos en los cuales no se alcanza a identificar cuando el FCE se vuelve constante.
- Proponer una función para el FCE que incluya el diámetro y/o grado de acero, así como para delimitar la carga a partir del cual el FCE es constante.
- Estudiar otros diámetros nominales, y grados de acero (R3S y R4S) de los eslabones.

## REFERENCIAS

1. PEMEX. (2014). *Anuario Estadístico 2014*
2. PEMEX. (2017). *Indicadores Petroleros, informe mensual sobre producción y comercio de hidrocarburos.*
3. Gobierno de México, (2015). *Ronda 1. Aguas Profundas, Cuarta convocatoria. Licitación CNH-R01-L04/2015, Contratos de Licencia para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos.* Recuperado de <https://rondasmexico.gob.mx/l04-ap-bloques/>
4. Gobierno de México, (2017). *Ronda 2. Aguas Profundas, Cuarta convocatoria. Licitación CNH-R02-L04/2017, Contratos de Licencia para la Exploración y Extracción de Hidrocarburos.* Recuperado de <https://rondasmexico.gob.mx/r2-l04-bloques/>
5. Secretaría de Energía. (2015). *Plan quinquenal de licitaciones para la exploración y extracción de hidrocarburos 2015 – 2019: Un proceso participativo.*
6. API. (2005). *API-RP-2SK Design and analysis of Stationkeeping Systems for floating Structures. API Recommended Practice 2SK, Tercera edición.*
7. Childers, M.A. (1973). "Mooring systems for hostile waters", *Petroleum engineer* 45(5): 58-70.
8. DNV GL AS. (2014). *SESAM THEORY MANUAL, Deep-C. Deep water coupled floater motion analysis.*
9. Godoy O.A., (2010). *Análisis dinámico de líneas de amarre a base de poliéster para sistemas flotantes de producción en aguas profundas, Tesis.*
10. API. (2001). *API-RP-2SM Recommended Practice for Design, Manufacture, Installation, and Maintenance of Synthetic Fiber Ropes for Offshore Mooring. API Recommended Practice 2SM, First Edition, Addendum, May 2007.*
11. API. (2007). *Interim Guidance on Hurricane Conditions in the Gulf of Mexico. API BULLETIN 2INT-MET, May 2007.*
12. DNV. (2010). *Offshore Standard DNV-OS-E301, Position mooring.*
13. DNV. (2008). *Offshore Standard DNV-OS-E302, Offshore mooring chain.*
14. DNV. (2013). *Offshore Standard DNV-OS-E303, Offshore fibre ropes.*
15. DNV. (2009). *Offshore Standard DNV-OS-E304, Offshore mooring Steel wire ropes.*

16. Noble Denton Europe Limited. (2006). *Floating Production Mooring Integrity Joint Industry Project*.
17. Stress Engineering Services, Inc. (2010). *Evaluate New Materials for Deepwater Synthetic Mooring Systems*, artículo.
18. DeAndrade O., Duggal A. (2010) *Analysis, Design and Installation of Polyester Rope Mooring Systems in Deep Water*, OTC 20833, Houston, Texas, USA.
19. Leite S., Ropes L., Boesten J., DSM Dyneema BV. (2011) *HMPE Mooring Lines for Deepwater MODUs*, OTC 22486, Rio de Janeiro, Brazil.
20. DAI HAN ANCHOR CHAIN MFG. CO., LTD. (S.F.) *OFFSHORE MOORING CHAIN & ANCHOR CHAIN*, ([www.dhar.co.kr](http://www.dhar.co.kr)), catálogo.
21. BRIDON. (S.F.). *FIBRE ROPE CATALOGUE*, ([www.bridon.com](http://www.bridon.com)), catálogo.
22. BEXCO. (2004). *POLYESTER & DYNEEMA MOORING ROPES MANUAL 2004*, ([www.bexco.com.be](http://www.bexco.com.be)).
23. Zanuttigh B., Martinelli L., Castagnetti M. (2012). *Screening of suitable mooring systems*, reporte.
24. Tae-Gu KIM, Seong-Beom LEE, Hong-Chul Lee. (2010). *A Case Study on Engineering Failure Analysis of Link Chain*, artículo.
25. Bjørsen E. (2014). *Chain in Mooring System*, tesis.
26. Stephens RI, Fatemi A, Stephens RR, Fuchs HO. (2001). *Metal Fatigue in Engineering*. Second edition. John Wiley & Sons.
27. Cook RD, Young WC. (1999). *Advanced Mechanics of materials*. Second edition. New Jersey: Prentice Hall.
28. Kvitrud A. (2014). *Anchor line failures- Norwegian Continental Shelf - 2010- 2014*, artículo.
29. Cerkovnik M., S. Chang, Cary Griffin. (2012). *Fatigue Analysis of Theter Chain in Hybrid Risers*. OMAE2012-83954. Rio de Janeiro: ASME International 31st.

## Anexo A. Resultados de sistemas de amarres.

En este anexo se muestran gráficas y tablas de los resultados para un caso de estudio por tirante en su condición intacta y sus dos condiciones dañadas. La Figura A.1 muestra la numeración de las líneas, mientras que la Tabla A.1 muestra las direcciones y factores de carga de las direcciones de análisis.

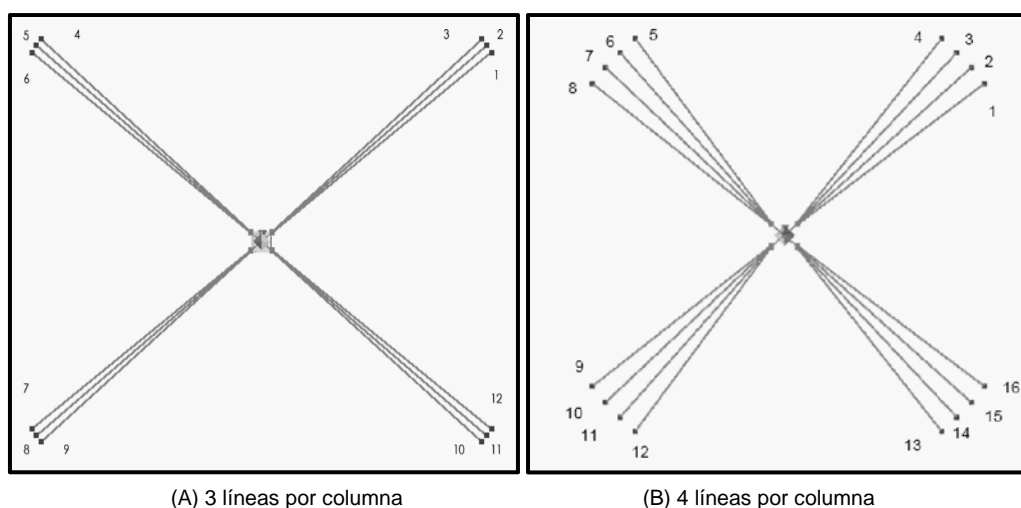


Figura A.1. Numeración de las líneas de amarre.

Tabla A.1. Combinaciones ambientales

Dirección	Comb	Viento		Oleaje		Corriente	
		Factor	Dir	Factor	Dir	Factor	Dir
180°	A	0.95	165°	1.00	180°	0.75	195°
	B	1.00	165°	0.95	180°	0.75	195°
	C	0.70	180°	0.70	180°	1.00	230°
202°	D	0.95	187°	1.00	202°	0.75	217°
	E	1.00	187°	0.95	202°	0.75	217°
	F	0.70	202°	0.70	202°	1.00	252°
	G	0.95	217°	1.00	202°	0.75	187°
	H	1.00	217°	0.95	202°	0.75	187°
	I	0.70	252°	0.70	202°	1.00	202°
225°	J	0.95	210°	1.00	225°	0.75	240°
	K	1.00	210°	0.95	225°	0.75	240°
	L	0.70	225°	0.70	225°	1.00	275°

### A.1 Caso de estudio 1: 1,000 m de tirante de agua

Resultados correspondientes a 3 líneas por columna, ángulo de salida de 45° y pretensión asociada a una longitud 1.00L, condición intacta y condiciones dañadas. La condición dañada 1 corresponde cuando el sistema ha perdido la línea 1, y la condición dañada 2 corresponde a la pérdida de la línea 2.

### COORDENADAS Y PROPIEDADES DE LAS LÍNEAS DE AMARRE

Tabla A.2. Coordenadas de los puntos de amarre y de anclaje del sistema de amarre, P10NL3AS45CIP0FSP.

Línea	Coordenadas (m)					
	Punto de amarre			Punto de anclaje		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	45.00	35.00	-19.00	796.49	665.57	-1,000.00
2	45.00	37.00	-19.00	738.67	730.67	-1,000.00
3	45.00	39.00	-19.00	675.57	790.49	-1,000.00
4	-45.00	39.00	-19.00	-675.57	790.49	-1,000.00
5	-45.00	37.00	-19.00	-738.67	730.67	-1,000.00
6	-45.00	35.00	-19.00	-796.49	665.57	-1,000.00
7	-45.00	-35.00	-19.00	-796.49	-665.57	-1,000.00
8	-45.00	-37.00	-19.00	-738.67	-730.67	-1,000.00
9	-45.00	-39.00	-19.00	-675.57	-790.49	-1,000.00
10	45.00	-39.00	-19.00	675.57	-790.49	-1,000.00
11	45.00	-37.00	-19.00	738.67	-730.67	-1,000.00
12	45.00	-35.00	-19.00	796.49	-665.57	-1,000.00

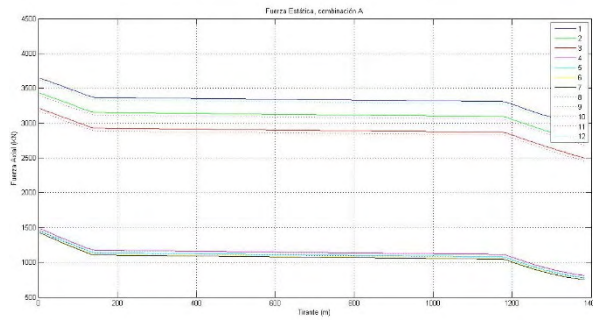
Tabla A.3. Propiedades de las líneas de amarre, P10NL3AS45CIP0FSP.

Sección	Tipo	D (m)	MBL (KN)	mpu (kg/m)	Longitud (m)	Peso (ton)
Cadena en zona de marea (cadena FC)	Studlink	0.124	14,358	336.73	138.73	560.60
Fibra sintética (fibra)	Poliéster	0.223	13,734	48.03	1,040.51	599.75
Cadena en fondo marino (cadena SC)	Studlink	0.124	14,358	336.73	208.10	840.90

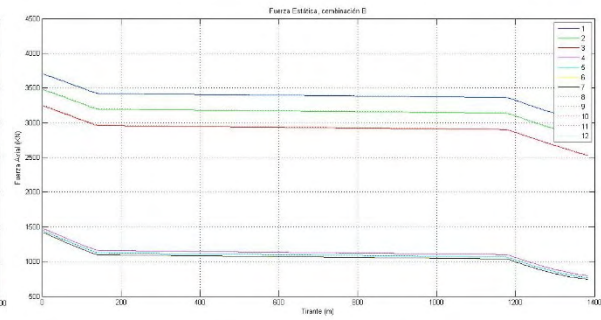


P10NL3AS45CIP0FSP

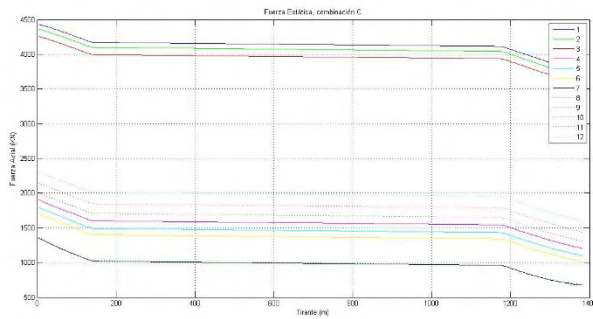
## TENSIONES ESTÁTICAS



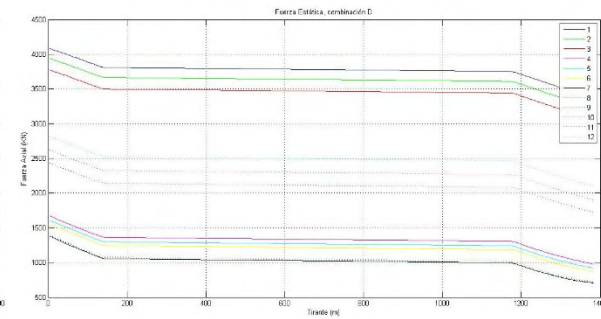
(A)



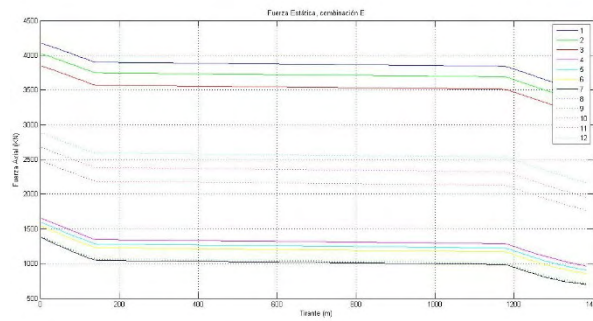
(B)



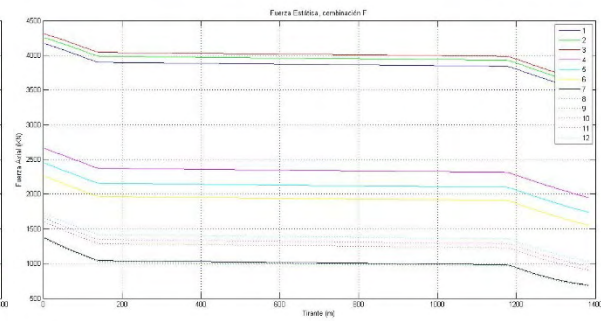
(C)



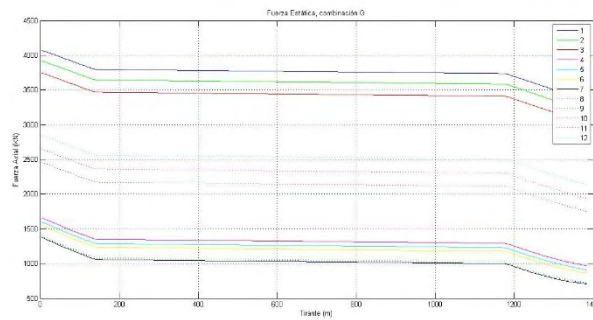
(D)



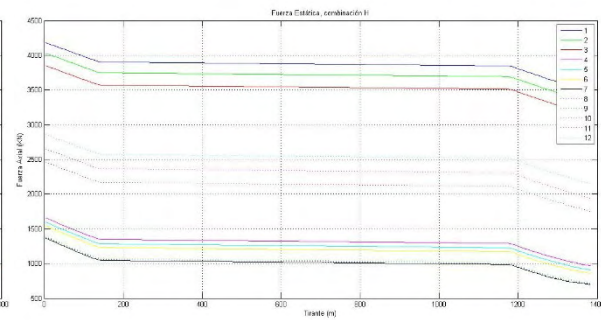
(E)



(F)



(G)



(H)

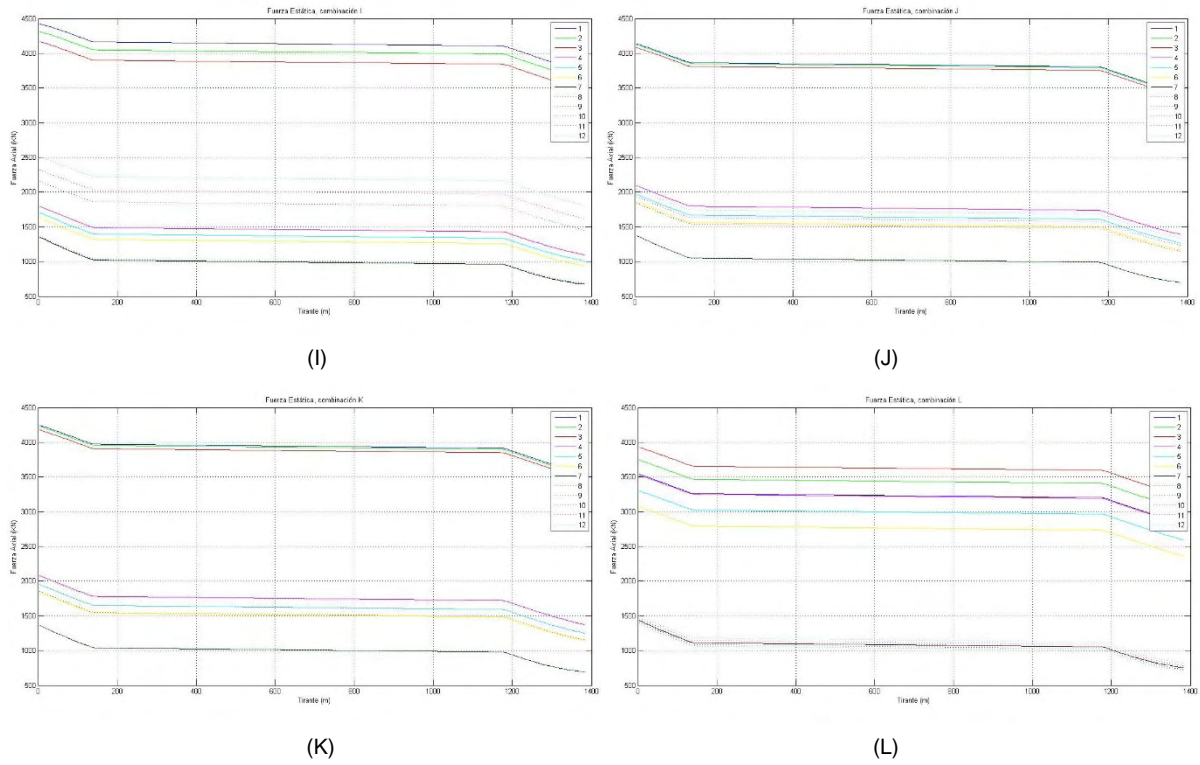
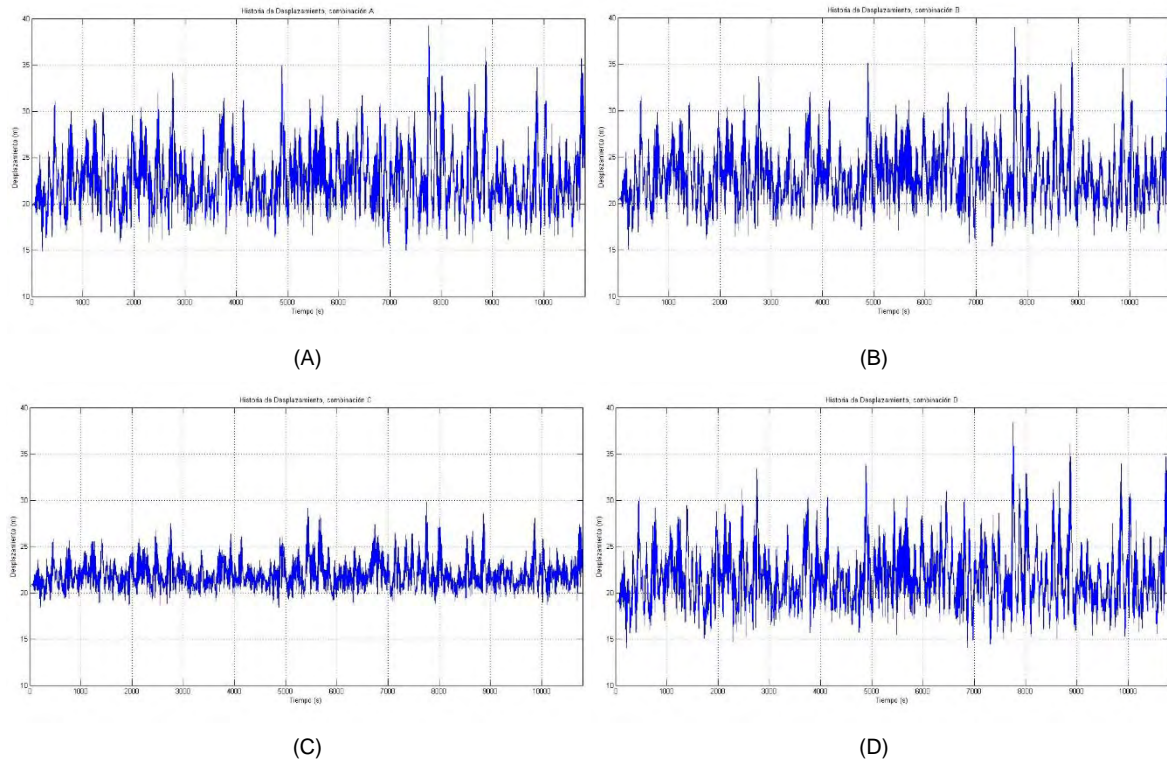


Figura A.2. Fuerzas axiales estáticas, P10NL3AS45CIP0FSP.

## HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS DINÁMICOS





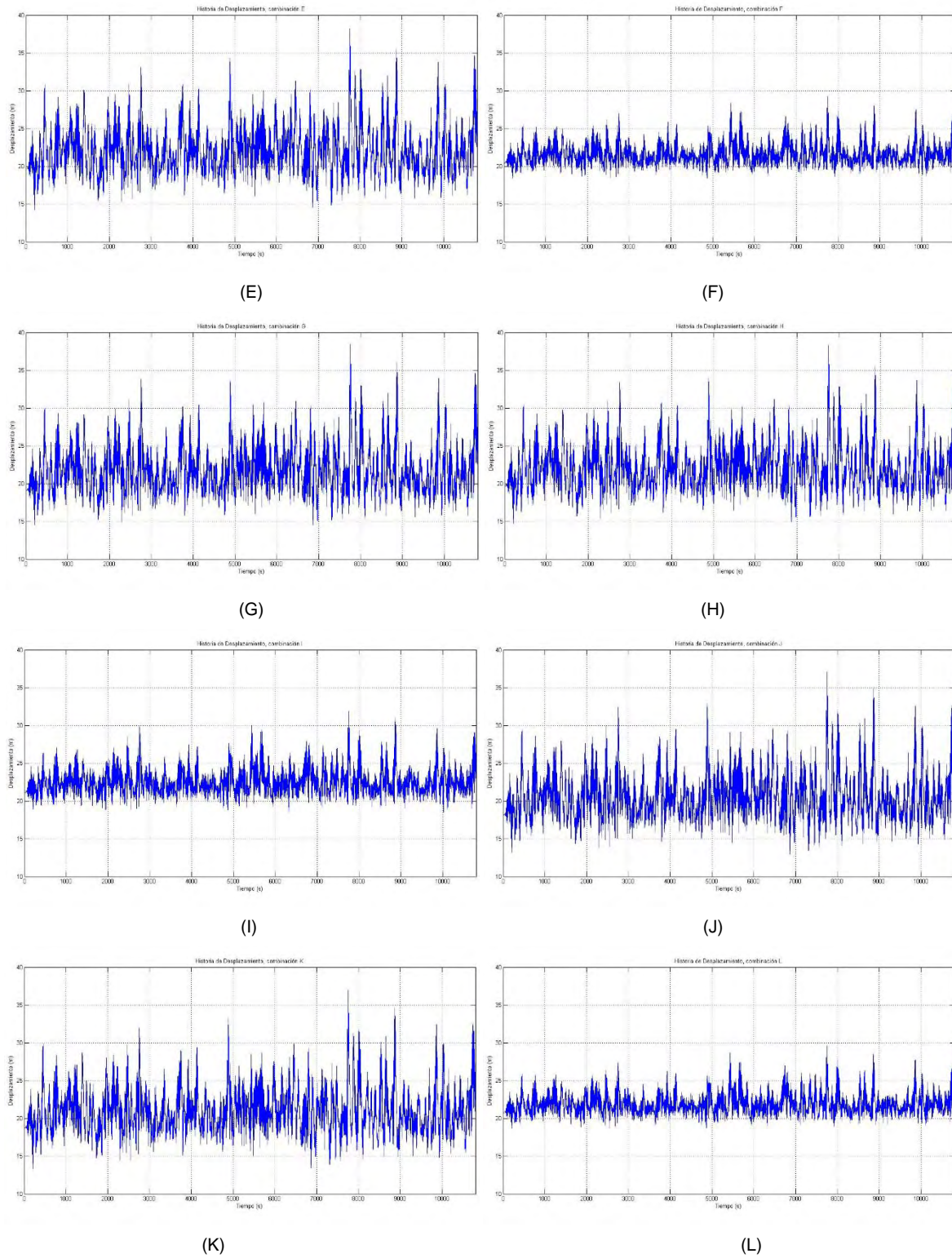
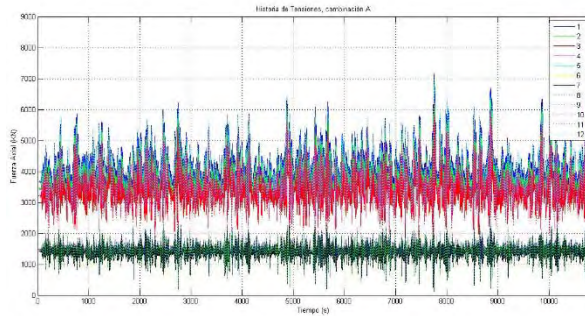
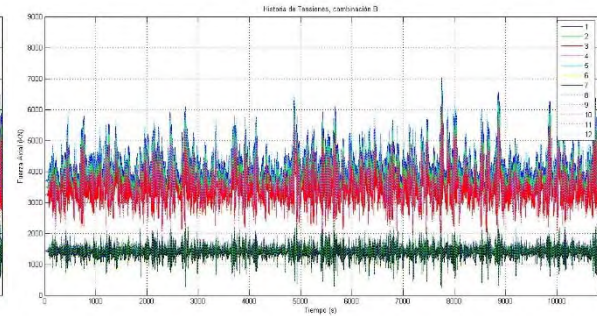


Figura A.3. Historia de Desplazamientos, P10NL3AS45CIP0FSP.

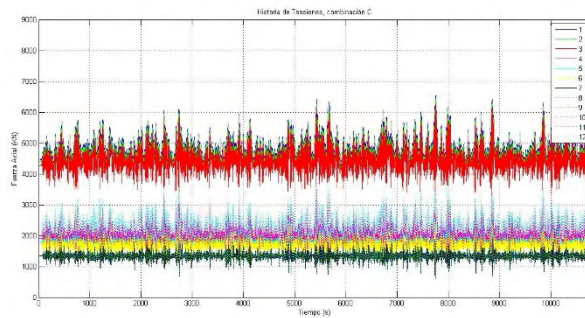
# HISTORIA DE TENSIONES



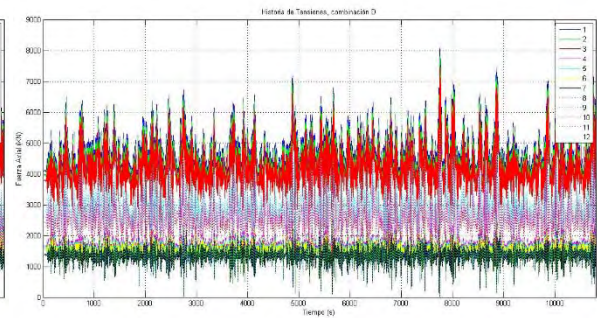
(A)



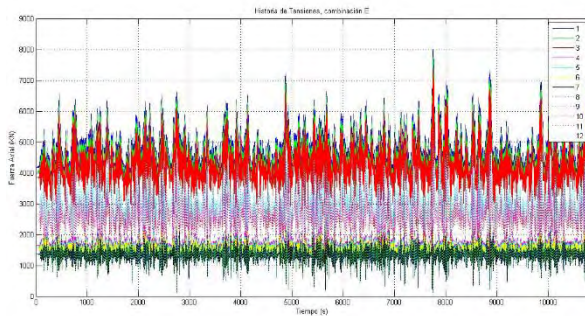
(B)



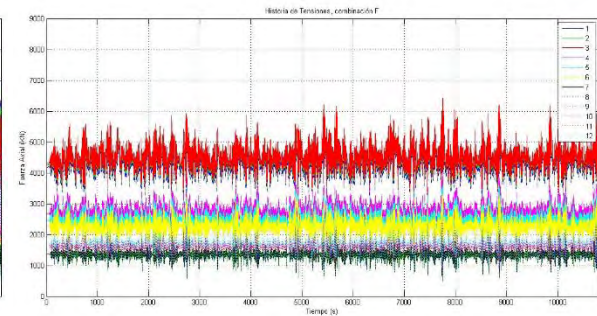
(C)



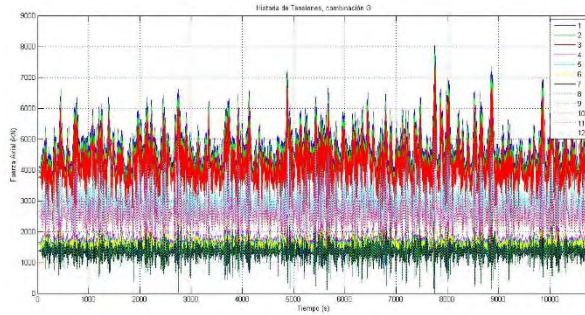
(D)



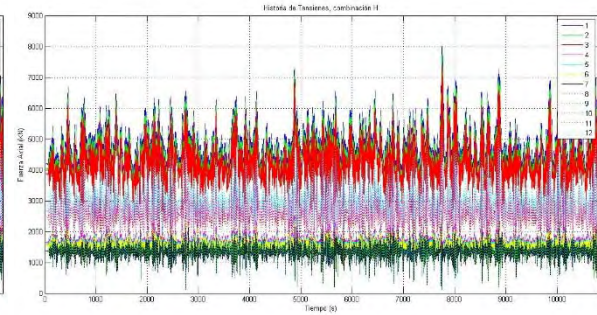
(E)



(F)



(G)



(H)



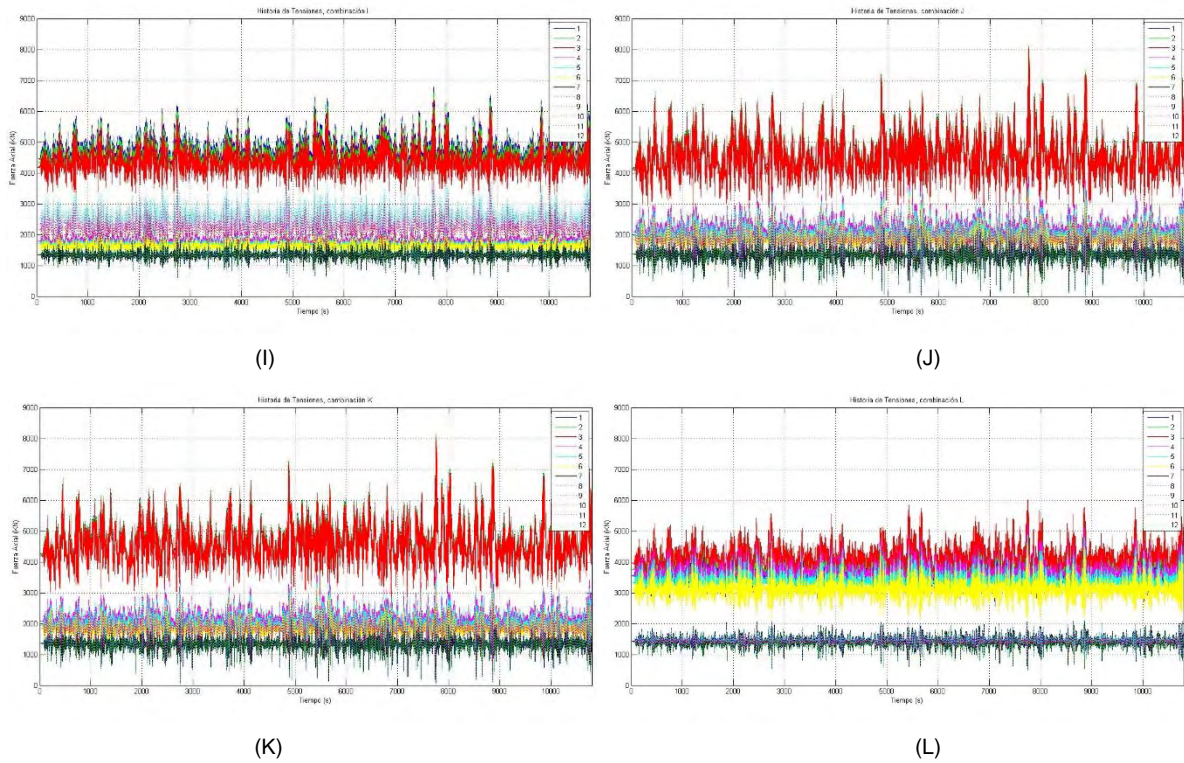
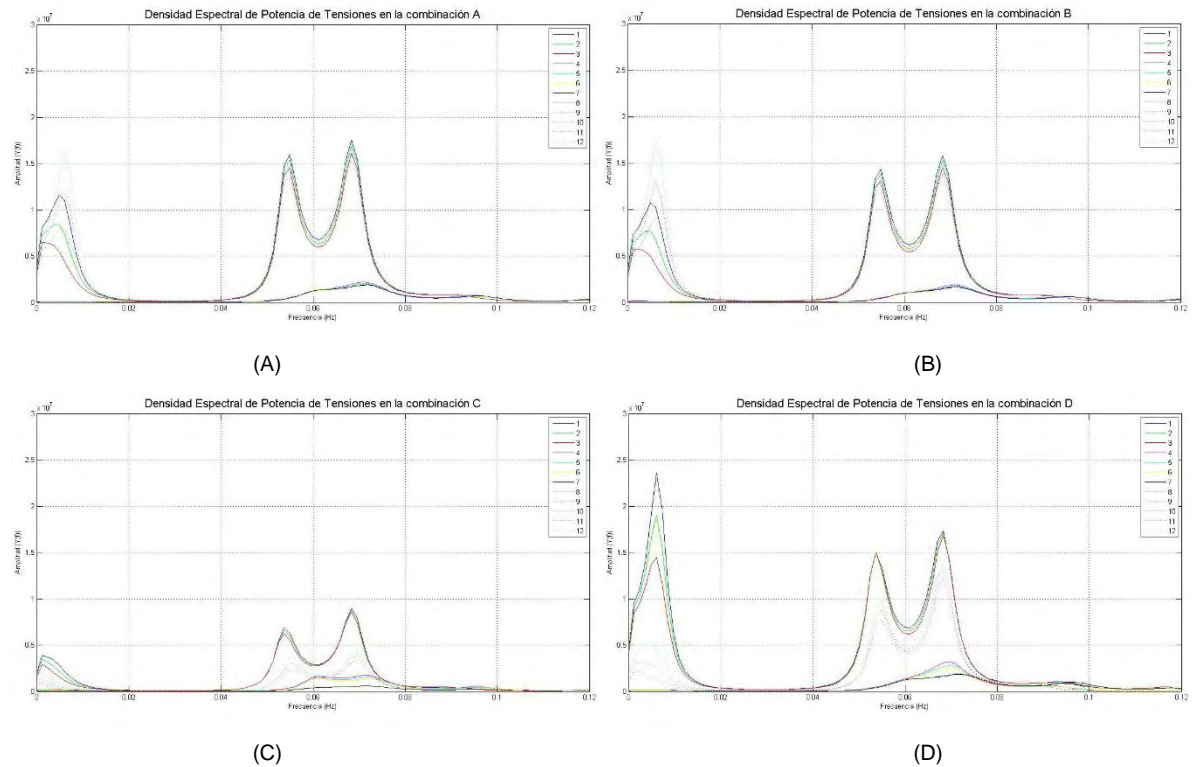


Figura A.4. Historia de tensiones dinámicas, P10NL3AS45CIP0FSP.

## DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA DE TENSIONES



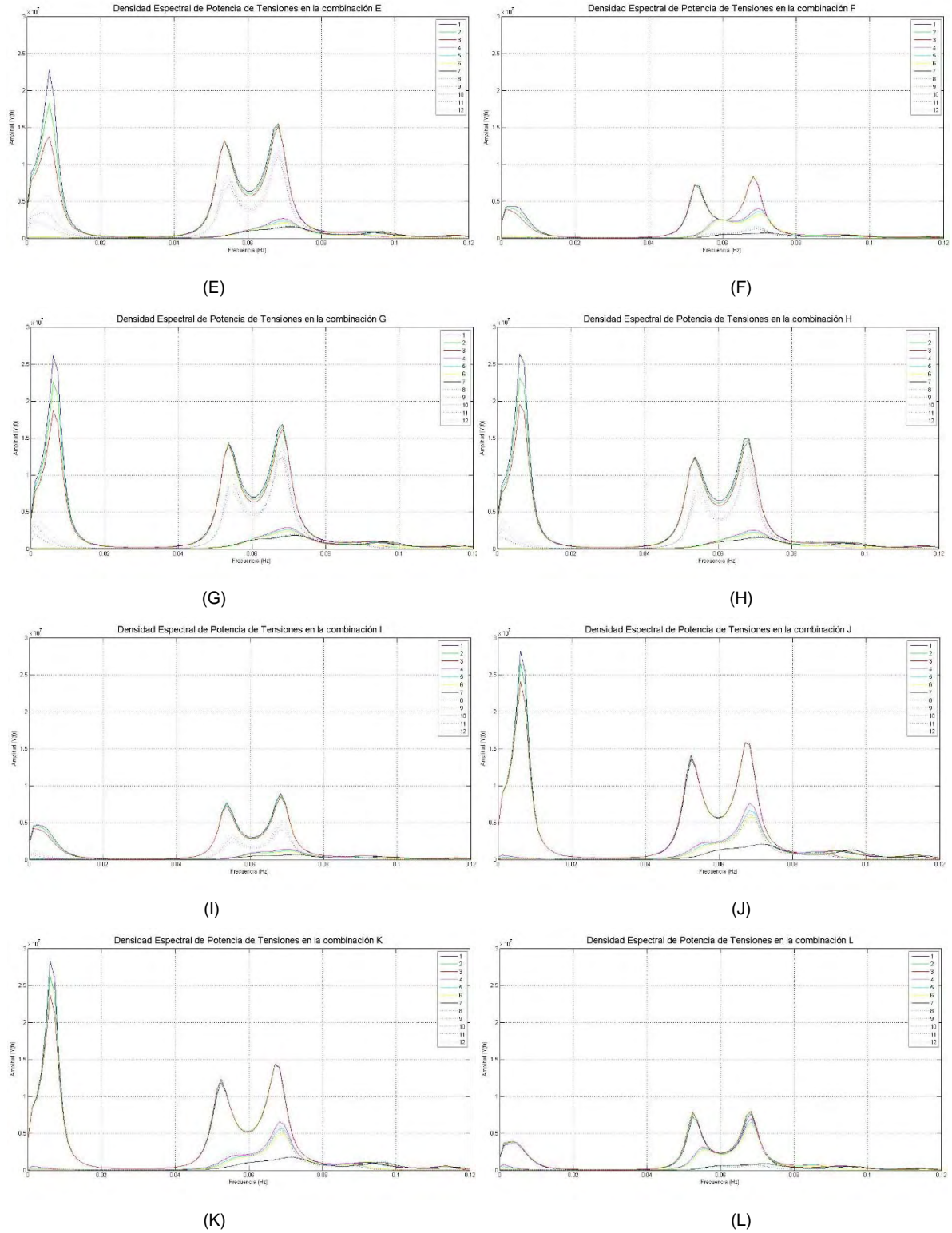


Figura A.5. Densidad espectral de potencia de tensiones, P10NL3AS45CIP0FSP.

Tabla A.4. Tensiones y desplazamientos estáticos, P10NL3AS45CIP0FSP.

Fuerza axial (KN)												
LÍNEA	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
1	3641.60	3694.20	<b>4430.50</b>	4079.50	4168.90	4164.30	4067.90	4176.50	4424.00	4134.70	4243.10	3538.00
2	3427.90	3470.20	4357.80	3936.60	4016.90	4249.60	3917.90	4023.50	4309.80	4121.80	4225.00	3740.60
3	3204.70	3236.50	4253.20	3770.10	3840.40	4304.40	3745.10	3846.40	4165.00	4080.50	4177.30	3925.40
4	1485.20	1471.60	1901.30	1668.90	1651.30	2656.20	1658.20	1657.00	1792.40	2092.70	2076.00	3519.50
5	1452.00	1439.00	1793.10	1606.10	1589.30	2444.70	1598.40	1595.40	1702.80	1967.00	1948.90	3296.70
6	1424.30	1411.80	1703.80	1553.60	1537.60	2257.50	1548.40	1544.10	1629.50	1860.50	1842.00	3069.10
7	1424.20	1416.80	1350.20	1378.10	1368.60	1368.50	1377.20	1365.90	1349.80	1371.80	1360.90	1428.40
8	1450.50	1443.60	1354.10	1389.80	1380.70	1359.10	1389.70	1378.00	1356.80	1370.80	1360.30	1404.70
9	1481.90	1475.70	1360.70	1404.60	1395.90	1352.40	1405.40	1393.30	1366.50	1372.30	1362.10	1385.20
10	3171.80	3248.70	2006.80	2434.60	2478.50	1598.40	2460.90	2459.20	2153.90	1841.10	1851.40	1438.40
11	3396.30	3482.70	2144.30	2617.00	2672.50	1655.10	2647.30	2652.40	2320.60	1933.80	1949.20	1466.20
12	3612.70	3707.30	2304.90	2812.60	2880.10	1722.90	2846.00	2859.40	2510.30	2042.10	2063.80	1499.50
Fibra sintética poliéster (fibra)												
1	3368.50	3421.40	<b>4172.00</b>	3810.70	3900.50	3899.10	3795.40	3904.50	4164.20	3864.70	3973.50	3261.40
2	3152.70	3195.20	4099.40	3666.90	3747.60	3986.40	3643.80	3749.90	4048.20	3852.30	3956.00	3466.90
3	2927.10	2959.10	3994.40	3499.20	3569.80	4043.00	3469.10	3570.80	3901.30	3811.30	3908.60	3654.60
4	1174.60	1160.60	1602.40	1364.80	1346.80	2372.40	1351.00	1349.80	1489.30	1797.70	1780.80	3250.30
5	1139.80	1126.40	1491.90	1300.40	1283.20	2157.20	1289.10	1286.00	1396.90	1669.50	1651.10	3024.30
6	1110.50	1097.70	1400.60	1246.30	1229.80	1966.40	1237.00	1232.60	1320.90	1560.80	1542.00	2793.20
7	1105.80	1098.30	1020.90	1056.70	1046.90	1044.20	1058.30	1046.70	1021.60	1051.30	1040.00	1112.60
8	1133.50	1126.50	1024.60	1068.80	1059.50	1033.30	1071.90	1059.90	1029.60	1049.70	1038.90	1086.70
9	1166.50	1160.10	1031.10	1084.20	1075.40	1025.30	1088.90	1076.40	1040.70	1050.90	1040.40	1065.20
10	2888.10	2965.40	1709.00	2142.60	2187.00	1288.00	2172.60	2170.90	1860.50	1539.70	1550.20	1117.30
11	3114.70	3201.60	1848.80	2327.00	2383.00	1347.40	2361.80	2366.90	2030.40	1634.60	1650.20	1147.20
12	3333.30	3428.30	2011.40	2524.60	2592.60	1417.80	2563.20	2576.70	2223.60	1744.90	1766.90	1182.80
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
1	3301.30	3354.10	<b>4105.00</b>	3743.60	3833.40	3832.00	3728.30	3837.40	4097.20	3797.60	3906.50	3194.10
2	3085.40	3127.90	4032.50	3599.80	3680.50	3919.40	3576.60	3682.80	3981.20	3785.30	3888.90	3399.70
3	2859.70	2891.80	3927.40	3432.00	3502.70	3976.00	3401.90	3503.70	3834.30	3744.20	3841.50	3587.40
4	1105.10	1091.10	1533.90	1295.90	1277.80	2304.70	1282.00	1280.80	1420.50	1729.40	1712.50	3183.00
5	1070.20	1056.80	1423.20	1231.30	1214.00	2089.30	1219.90	1216.80	1328.00	1601.10	1582.70	2956.90
6	1040.80	1027.90	1331.80	1177.10	1160.60	1898.40	1167.70	1163.30	1251.80	1492.30	1473.40	2725.70
7	1036.10	1028.50	950.75	986.72	976.89	974.18	988.37	976.68	951.39	981.29	969.99	1042.90
8	1063.90	1056.80	954.44	998.93	989.55	963.20	1002.10	989.95	959.45	979.77	968.85	1016.90
9	1096.90	1090.50	960.97	1014.40	1005.50	955.20	1019.10	1006.60	970.57	980.88	970.36	995.33
10	2820.60	2898.00	1640.70	2074.80	2119.20	1218.90	2104.80	2103.10	1792.50	1471.20	1481.70	1047.60
11	3047.40	3134.30	1780.60	2259.20	2315.30	1278.40	2294.10	2299.30	1962.50	1566.10	1581.80	1077.60
12	3266.00	3361.10	1943.40	2457.00	2525.00	1349.00	2495.60	2509.10	2155.80	1676.60	1698.60	1113.30
DESPLAZAMIENTO LATERAL (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	19.75	20.33	20.65	18.95	19.57	20.34	19.02	19.59	<b>20.99</b>	18.08	18.66	20.63



Tabla A.5. Tensiones y desplazamientos dinámicos, P10NL3AS45CIP0FSP.

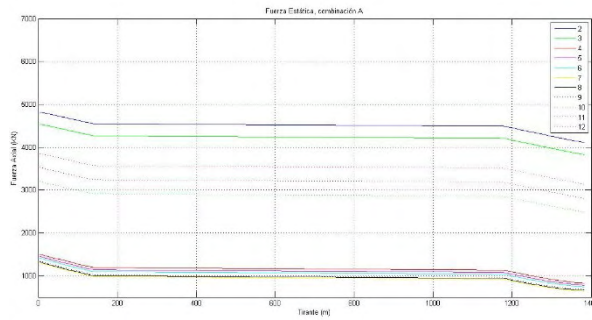
Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
1	7154.20	7036.00	6554.10	8082.00	8008.00	6318.00	8048.10	8016.00	6781.60	<b>8135.10</b>	8089.90	5515.40
2	6749.80	6626.10	6428.90	7801.00	7723.00	6390.10	7750.50	7727.70	6601.30	8118.00	8065.00	5774.30
3	6317.30	6189.50	6267.60	7480.40	7397.90	6422.90	7415.60	7400.20	6378.00	8044.80	7983.90	6000.30
4	2520.60	2458.60	2743.90	2866.30	2770.00	3937.40	2802.40	2727.20	2621.50	3894.90	3726.40	5213.10
5	2451.70	2390.50	2589.10	2738.70	2659.50	3610.30	2693.50	2618.60	2475.20	3551.70	3402.20	4879.90
6	2394.40	2335.40	2465.00	2640.70	2564.50	3342.10	2602.20	2525.00	2362.40	3292.10	3179.20	4537.50
7	2377.00	2299.20	1969.70	2348.70	2293.30	2046.80	2368.00	2312.00	1964.20	2427.20	2363.70	2133.10
8	2427.30	2349.20	1958.60	2367.30	2311.30	2030.40	2396.10	2339.20	1973.00	2426.10	2364.40	2101.80
9	2483.90	2407.80	1958.80	2391.00	2334.20	2016.60	2432.10	2376.20	1983.90	2432.30	2371.40	2079.50
10	6220.70	6200.60	3276.80	4631.50	4601.00	2400.90	4710.60	4556.20	3451.50	3134.60	3074.30	2023.60
11	6657.70	6636.20	3525.90	5023.80	5002.50	2503.10	5123.00	4970.30	3740.60	3343.80	3288.40	2069.90
12	7068.60	7046.20	3811.50	5435.40	5421.00	2625.80	5542.40	5394.90	4062.40	3599.00	3548.50	2130.10
Fibra sintética poliéster (fibra)												
1	6924.60	6805.20	6325.60	7857.00	7782.70	6082.60	7819.20	7786.80	6560.20	<b>7909.00</b>	7863.30	5267.70
2	6513.50	6388.70	6201.50	7579.70	7501.10	6160.10	7523.60	7500.30	6375.20	7893.60	7840.00	5529.90
3	6082.60	5953.50	6036.10	7254.40	7170.90	6194.30	7184.90	7168.70	6150.10	7822.40	7761.00	5759.70
4	2086.30	2030.20	2444.90	2511.30	2423.70	3674.30	2397.30	2332.00	2293.20	3622.40	3452.00	4973.40
5	2002.60	1949.40	2274.80	2363.70	2288.50	3344.60	2264.30	2199.30	2125.60	3263.00	3113.10	4630.40
6	1927.80	1877.30	2127.80	2248.00	2177.00	3071.50	2152.70	2086.50	1993.30	2982.80	2870.50	4287.30
7	1863.40	1798.30	1447.80	1808.40	1764.00	1533.30	1847.70	1801.80	1455.90	1878.80	1827.90	1658.60
8	1925.60	1860.20	1444.30	1830.10	1785.70	1508.00	1883.30	1836.30	1468.80	1872.40	1822.20	1612.60
9	1995.80	1930.30	1444.30	1858.30	1813.50	1488.10	1925.20	1877.10	1486.20	1872.20	1822.30	1575.50
10	5978.70	5957.80	2988.10	4368.70	4338.70	2024.20	4457.90	4301.30	3177.70	2776.00	2724.70	1581.50
11	6415.50	6393.30	3247.60	4772.00	4749.40	2147.20	4872.60	4717.90	3472.60	3015.70	2968.00	1638.10
12	6830.30	6807.00	3542.10	5185.30	5172.20	2290.30	5299.70	5150.30	3800.00	3293.20	3249.30	1710.60
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
1	6881.10	6760.80	6275.10	7813.10	7739.90	6033.10	7775.30	7743.80	6510.80	<b>7864.90</b>	7818.40	5218.70
2	6472.60	6347.40	6151.20	7536.20	7458.80	6111.10	7480.10	7457.70	6328.50	7849.50	7795.10	5481.00
3	6041.80	5912.20	5988.80	7216.10	7131.70	6145.70	7146.00	7129.00	6107.30	7778.20	7715.90	5710.90
4	2047.80	1990.60	2400.70	2474.80	2386.20	3633.30	2361.80	2293.60	2248.40	3585.70	3413.20	4930.40
5	1960.80	1905.80	2228.20	2328.90	2251.40	3301.50	2229.60	2161.80	2079.90	3227.20	3080.20	4586.80
6	1886.80	1834.40	2084.30	2210.40	2137.40	3030.00	2113.10	2045.00	1948.40	2948.60	2833.40	4243.70
7	1821.80	1754.50	1394.20	1765.50	1719.30	1476.80	1804.90	1757.30	1405.00	1834.80	1782.90	1609.80
8	1882.50	1815.20	1389.50	1786.20	1740.00	1452.20	1839.60	1790.90	1417.20	1829.90	1778.60	1562.60
9	1958.80	1891.80	1392.40	1813.20	1767.90	1432.30	1885.60	1836.60	1433.90	1832.20	1781.10	1524.60
10	5936.50	5915.00	2939.70	4334.80	4301.40	1975.50	4417.60	4260.70	3133.50	2737.20	2684.70	1528.60
11	6373.40	6350.60	3199.40	4732.90	4709.90	2099.50	4833.30	4678.00	3427.10	2978.90	2929.20	1586.00
12	6786.40	6762.30	3493.40	5145.40	5130.50	2241.60	5259.00	5108.00	3754.70	3256.40	3211.30	1658.90
DESPLAZAMIENTO LATERAL (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	<b>39.23</b>	38.97	29.78	38.37	38.24	29.22	38.44	38.25	31.92	37.10	36.97	29.56

Tabla A.6. Relaciones dinámicos-estáticos, P10NL3AS45CIP0FSP.

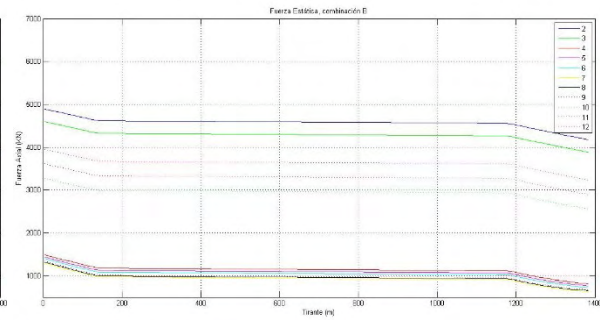
Sección	Línea	Combinación											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena FC	1	1.96	1.90	1.48	1.98	1.92	1.52	1.98	1.92	1.53	<b>1.97</b>	1.91	1.56
	2	1.97	1.91	1.48	1.98	1.92	1.50	1.98	1.92	1.53	1.97	1.91	1.54
	3	1.97	1.91	1.47	1.98	1.93	1.49	1.98	1.92	1.53	1.97	1.91	1.53
	4	1.70	1.67	1.44	1.72	1.68	1.48	1.69	1.65	1.46	1.86	1.79	1.48
	5	1.69	1.66	1.44	1.71	1.67	1.48	1.69	1.64	1.45	1.81	1.75	1.48
	6	1.68	1.65	1.45	1.70	1.67	1.48	1.68	1.64	1.45	1.77	1.73	1.48
	7	1.67	1.62	1.46	1.70	1.68	1.50	1.72	1.69	1.46	1.77	1.74	1.49
	8	1.67	1.63	1.45	1.70	1.67	1.49	1.72	1.70	1.45	1.77	1.74	1.50
	9	1.68	1.63	1.44	1.70	1.67	1.49	1.73	1.71	1.45	1.77	1.74	1.50
	10	1.96	1.91	1.63	1.90	1.86	1.50	1.91	1.85	1.60	1.70	1.66	1.41
	11	1.96	1.91	1.64	1.92	1.87	1.51	1.94	1.87	1.61	1.73	1.69	1.41
	12	1.96	1.90	1.65	1.93	1.88	1.52	1.95	1.89	1.62	1.76	1.72	1.42
Fibra	1	2.06	1.99	1.52	2.06	2.00	1.56	2.06	1.99	1.58	<b>2.05</b>	1.98	1.62
	2	2.07	2.00	1.51	2.07	2.00	1.55	2.06	2.00	1.57	2.05	1.98	1.60
	3	2.08	2.01	1.51	2.07	2.01	1.53	2.07	2.01	1.58	2.05	1.99	1.58
	4	1.78	1.75	1.53	1.84	1.80	1.55	1.77	1.73	1.54	2.02	1.94	1.53
	5	1.76	1.73	1.52	1.82	1.78	1.55	1.76	1.71	1.52	1.95	1.89	1.53
	6	1.74	1.71	1.52	1.80	1.77	1.56	1.74	1.69	1.51	1.91	1.86	1.53
	7	1.69	1.64	1.42	1.71	1.68	1.47	1.75	1.72	1.43	1.79	1.76	1.49
	8	1.70	1.65	1.41	1.71	1.69	1.46	1.76	1.73	1.43	1.78	1.75	1.48
	9	1.71	1.66	1.40	1.71	1.69	1.45	1.77	1.74	1.43	1.78	1.75	1.48
	10	2.07	2.01	1.75	2.04	1.98	1.57	2.05	1.98	1.71	1.80	1.76	1.42
	11	2.06	2.00	1.76	2.05	1.99	1.59	2.06	1.99	1.71	1.84	1.80	1.43
	12	2.05	1.99	1.76	2.05	1.99	1.62	2.07	2.00	1.71	1.89	1.84	1.45
Cadena SC	1	2.08	2.02	1.53	2.09	2.02	1.57	2.09	2.02	1.59	<b>2.07</b>	2.00	1.63
	2	2.10	2.03	1.53	2.09	2.03	1.56	2.09	2.03	1.59	2.07	2.00	1.61
	3	2.11	2.04	1.52	2.10	2.04	1.55	2.10	2.03	1.59	2.08	2.01	1.59
	4	1.85	1.82	1.57	1.91	1.87	1.58	1.84	1.79	1.58	2.07	1.99	1.55
	5	1.83	1.80	1.57	1.89	1.85	1.58	1.83	1.78	1.57	2.02	1.95	1.55
	6	1.81	1.78	1.57	1.88	1.84	1.60	1.81	1.76	1.56	1.98	1.92	1.56
	7	1.76	1.71	1.47	1.79	1.76	1.52	1.83	1.80	1.48	1.87	1.84	1.54
	8	1.77	1.72	1.46	1.79	1.76	1.51	1.84	1.81	1.48	1.87	1.84	1.54
	9	1.79	1.73	1.45	1.79	1.76	1.50	1.85	1.82	1.48	1.87	1.84	1.53
	10	2.10	2.04	1.79	2.09	2.03	1.62	2.10	2.03	1.75	1.86	1.81	1.46
	11	2.09	2.03	1.80	2.09	2.03	1.64	2.11	2.03	1.75	1.90	1.85	1.47
	12	2.08	2.01	1.80	2.09	2.03	1.66	2.11	2.04	1.74	1.94	1.89	1.49
Desplazamiento lateral (m)													
SEMI		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		1.99	1.92	1.44	2.02	1.95	1.44	2.02	1.95	1.52	<b>2.05</b>	1.98	1.43

P10NL3AS45CD1P0FSP

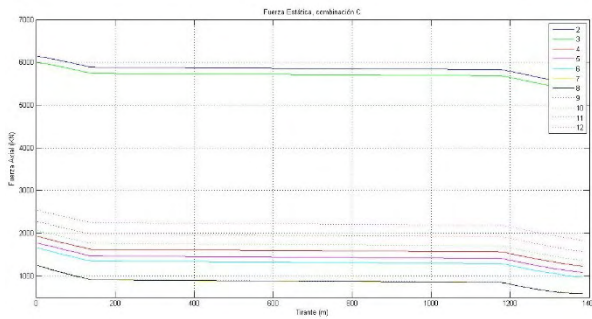
## TENSIONES ESTÁTICAS



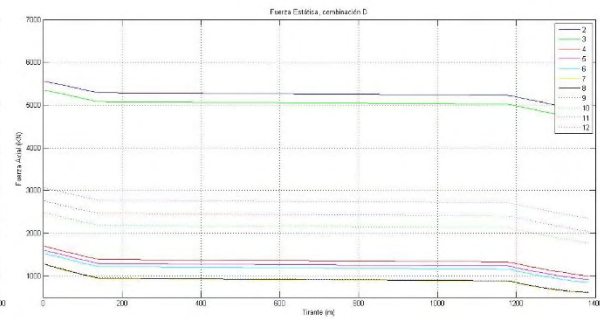
(A)



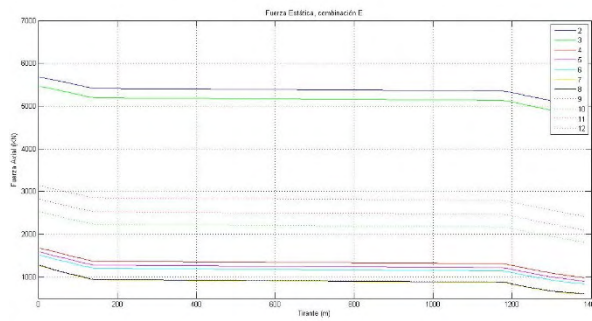
(B)



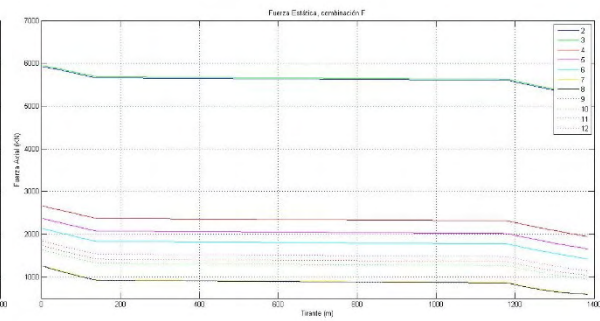
(C)



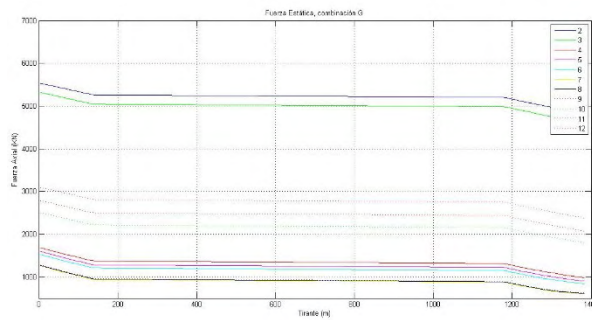
(D)



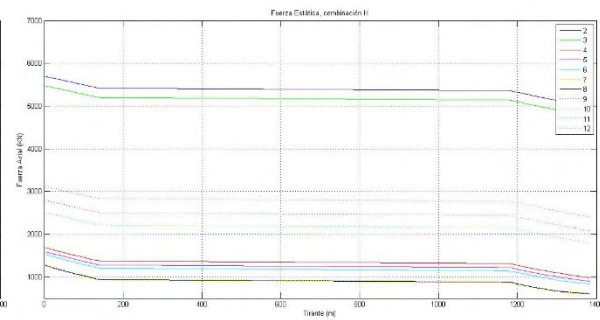
(E)



(F)



(G)



(H)

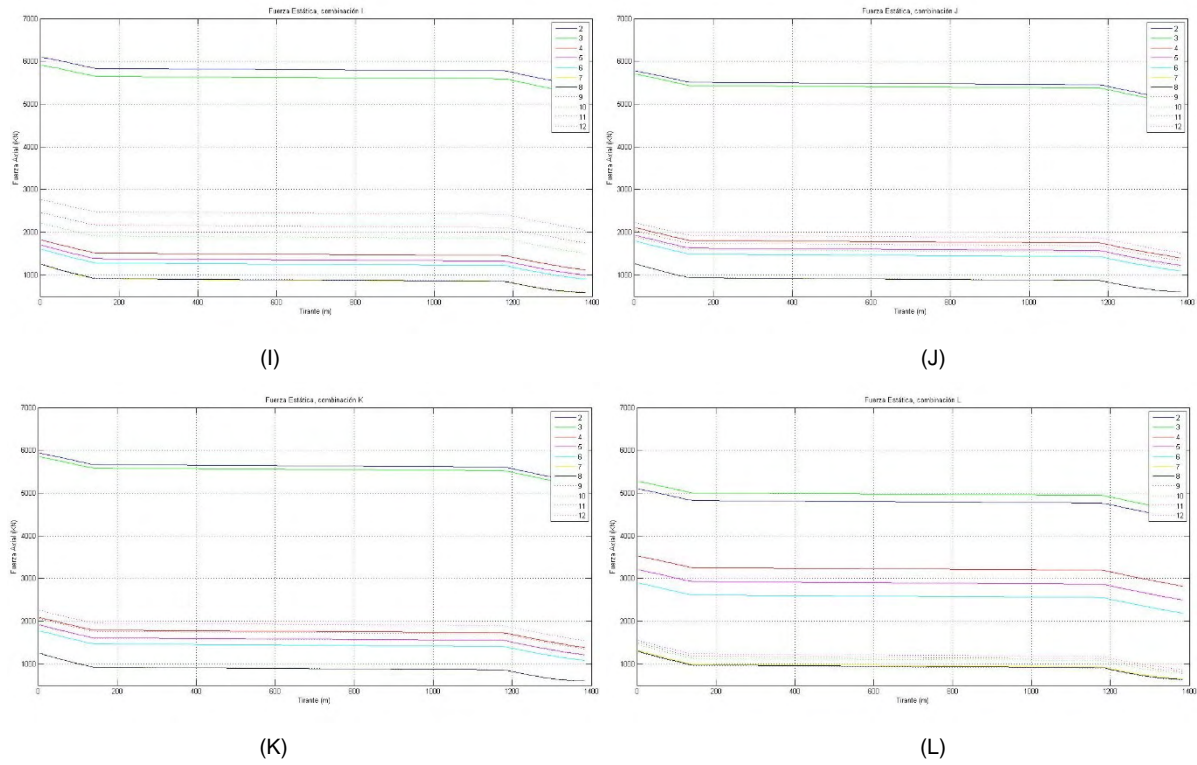
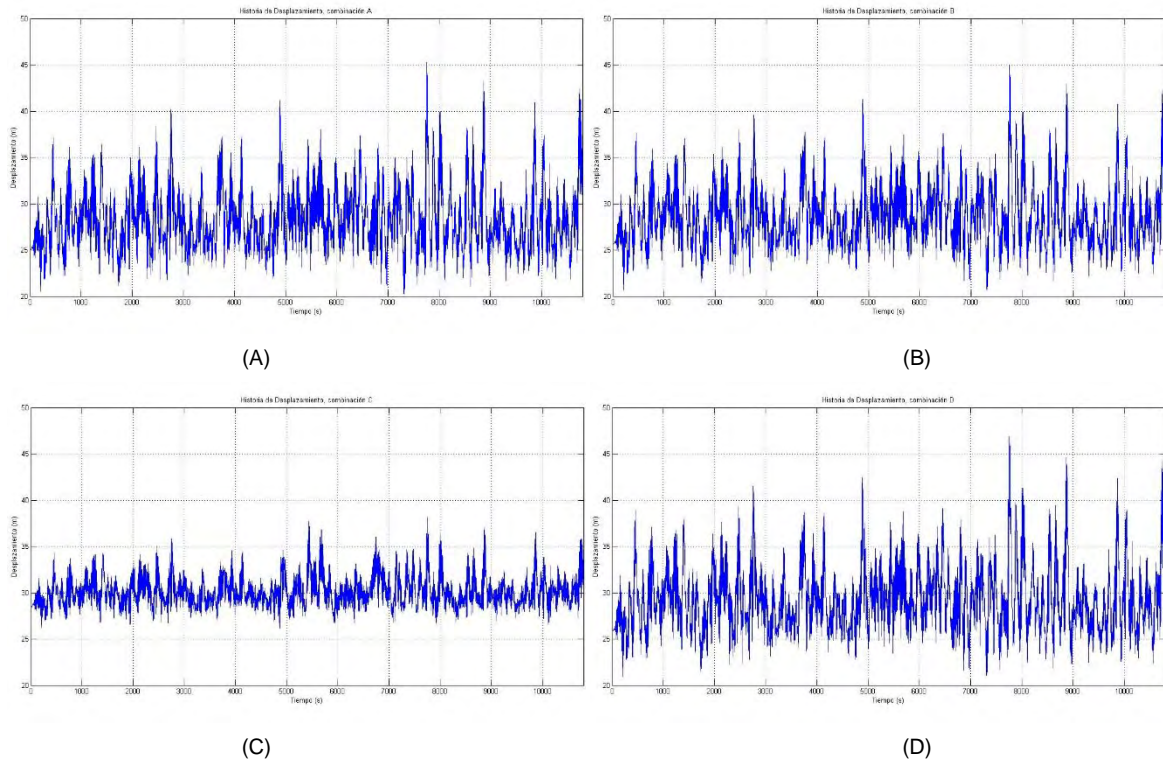


Figura A.6. Fuerzas axiales estáticas, P10NL3AS45CD1P0FSP.

## HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS DINÁMICOS





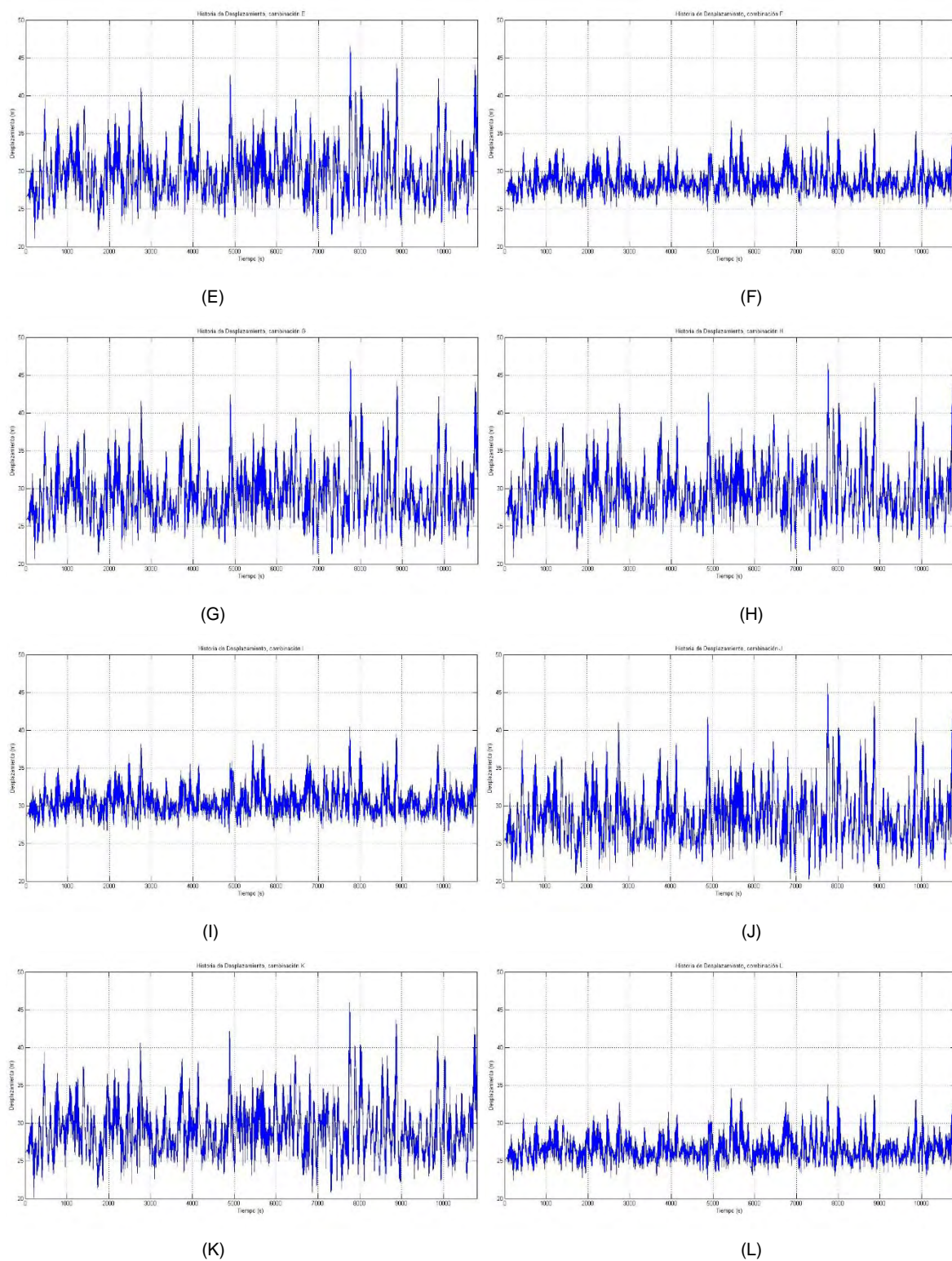
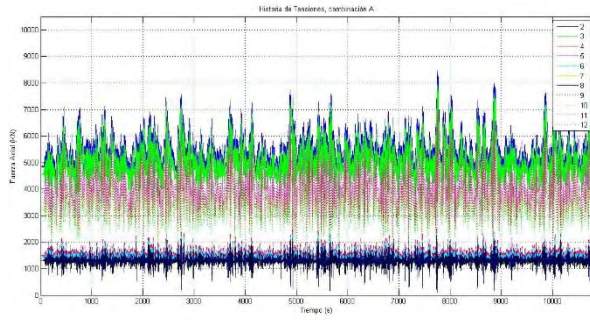
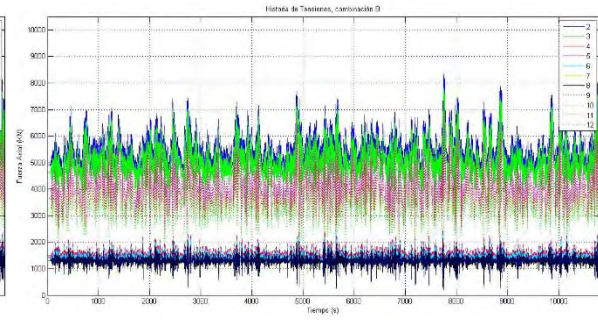


Figura A.7. Historia de Desplazamientos, P10NL3AS45CD1P0FSP.

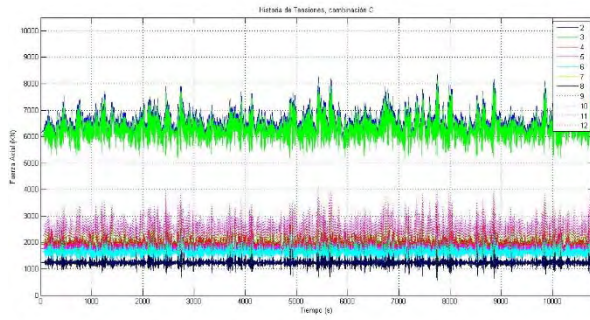
## HISTORIA DE TENSIONES



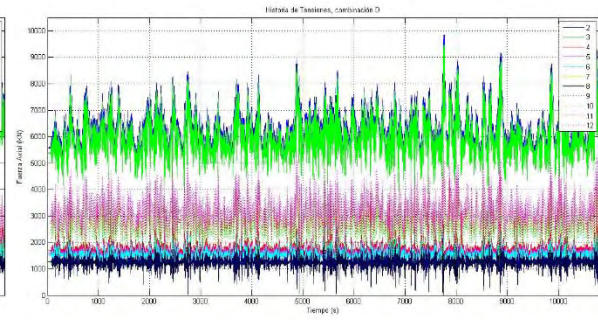
(A)



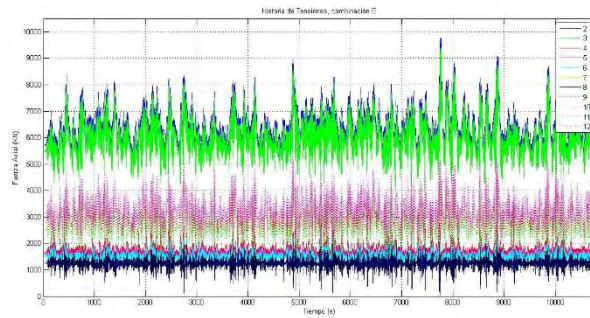
(B)



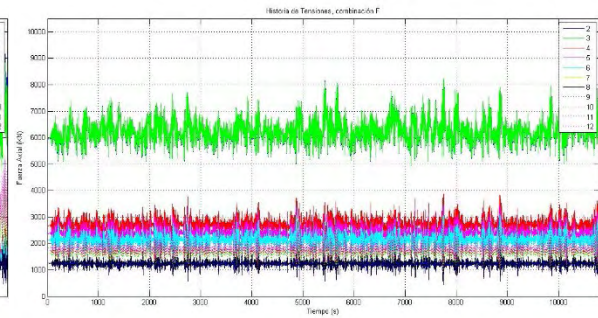
(C)



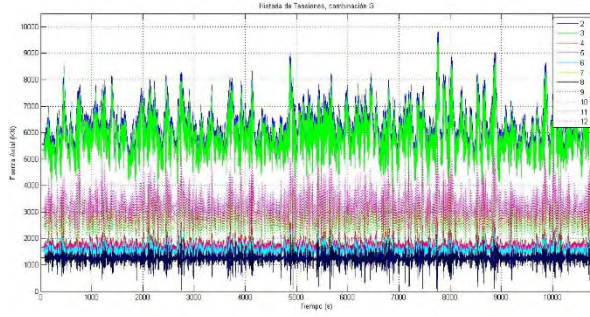
(D)



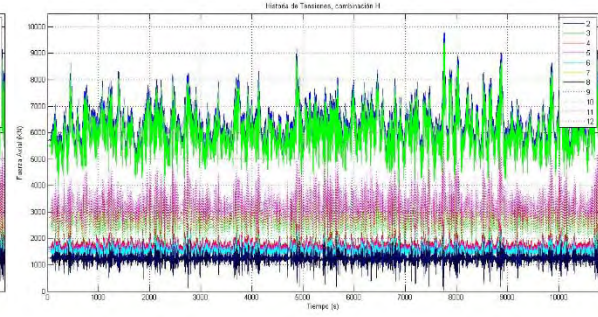
(E)



(F)



(G)



(H)



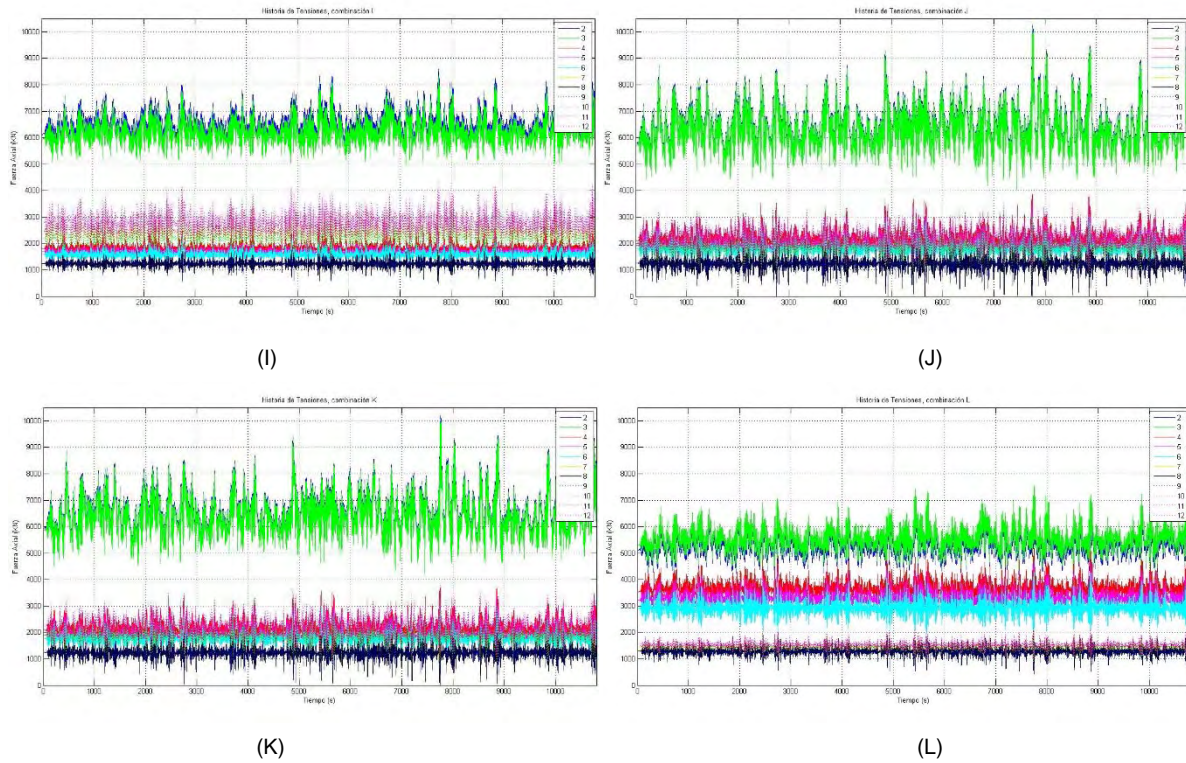
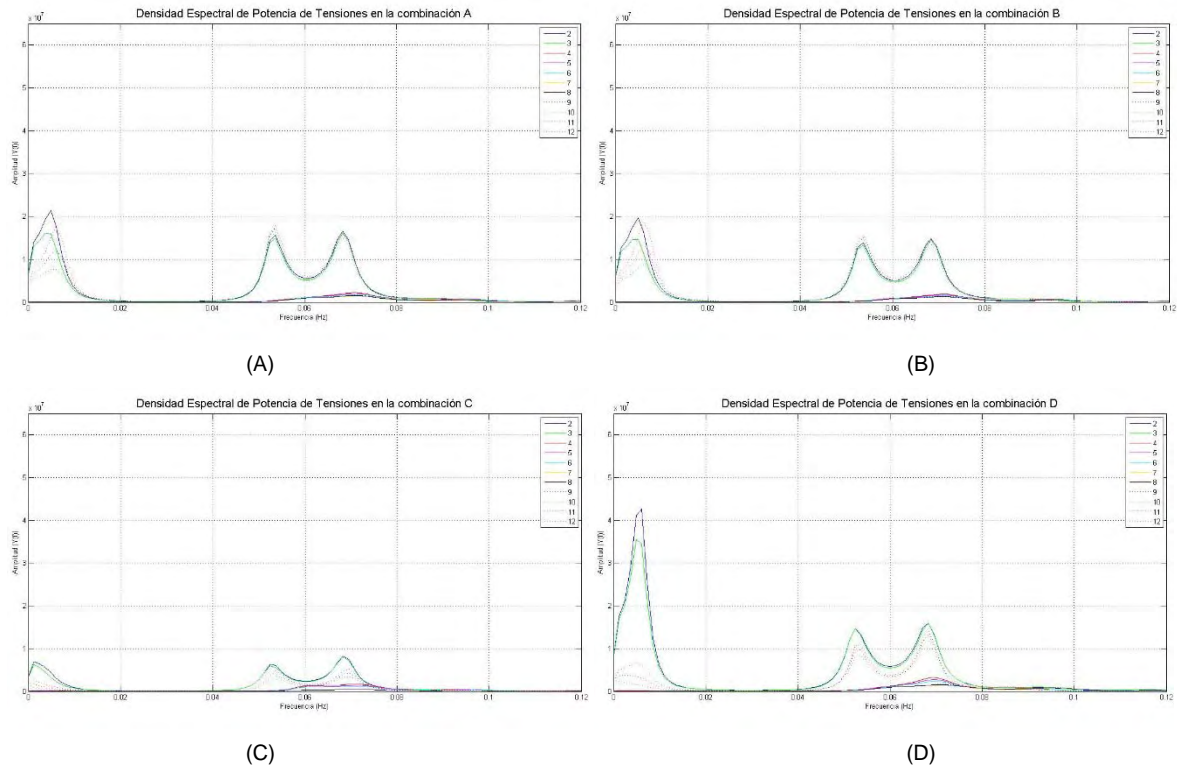


Figura A.8. Historia de tensiones dinámicas, P10NL3AS45CD1P0FSP.

## DISEÑO ESPECTRAL DE POTENCIA DE TENSIONES





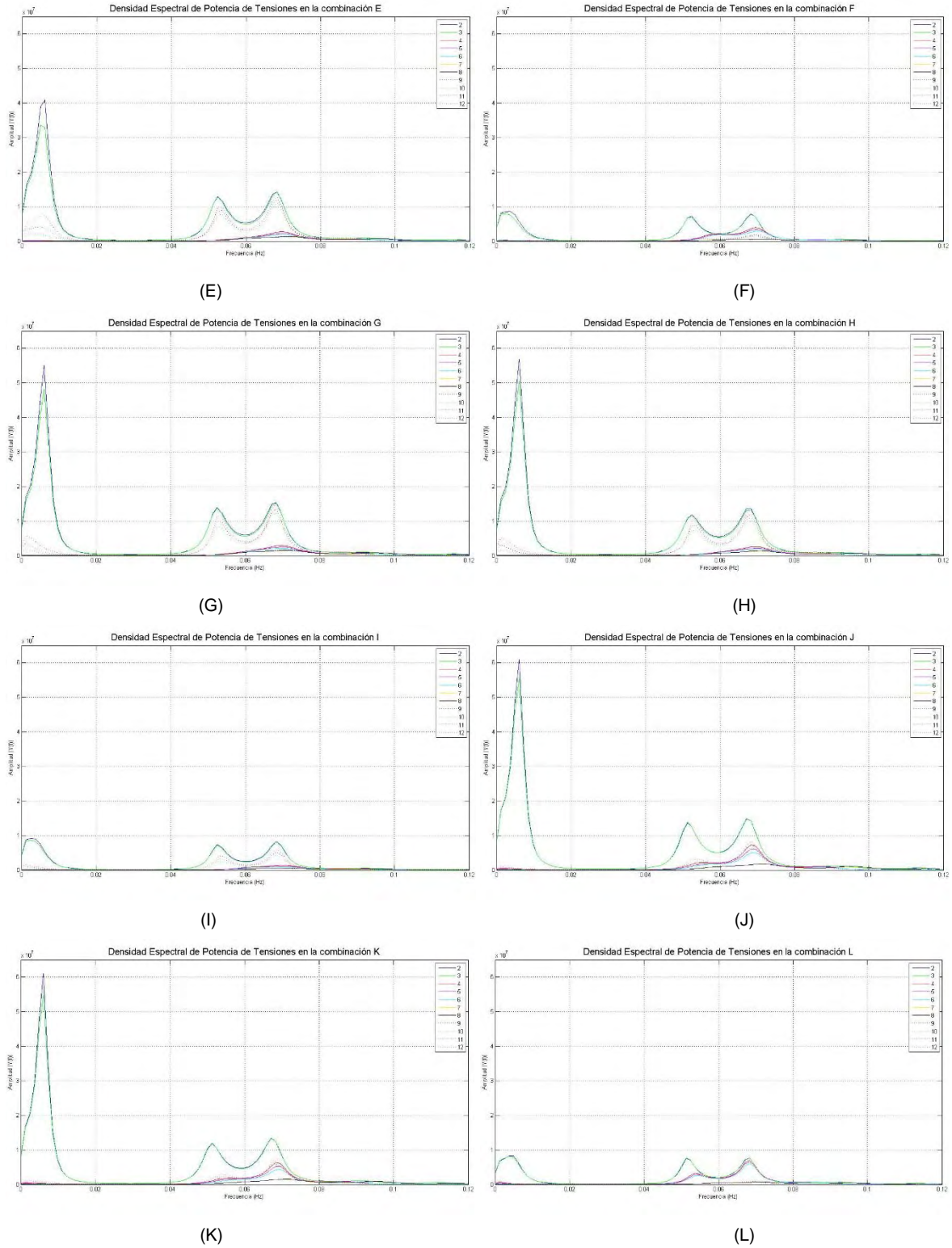


Figura A.9. Diseño espectral de potencia de tensiones, P10NL3AS45CD1P0FSP.

Tabla A.7. Tensiones y desplazamientos estáticos, P10NL3AS45CD1P0FSP.

Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
2	4817.60	4885.50	<b>6138.20</b>	5552.20	5675.60	5916.90	5528.50	5687.30	6089.90	5773.30	5929.90	5092.80
3	4536.60	4593.40	5994.50	5343.40	5456.60	5940.10	5313.20	5468.00	5904.90	5696.20	5845.30	5268.90
4	1501.90	1488.10	1921.10	1690.80	1673.60	2654.80	1680.20	1679.50	1815.50	2103.10	2087.40	3522.30
5	1451.80	1439.00	1769.90	1599.50	1583.40	2363.40	1592.50	1589.40	1688.40	1927.00	1909.70	3199.80
6	1410.70	1398.70	1653.40	1526.70	1511.70	2125.70	1522.60	1517.90	1590.60	1788.50	1771.00	2890.00
7	1304.40	1298.20	1239.90	1264.00	1255.70	1256.60	1262.90	1253.00	1239.30	1258.30	1248.70	1312.20
8	1321.50	1315.60	1242.80	1271.60	1263.60	1251.00	1270.90	1260.80	1243.80	1258.00	1248.60	1296.50
9	1342.30	1336.80	1248.00	1281.90	1274.10	1247.80	1281.70	1271.20	1250.70	1260.00	1250.80	1284.20
10	3197.40	3274.20	2060.40	2479.80	2523.80	1634.60	2503.40	2502.80	2205.40	1889.90	1901.80	1456.90
11	3523.60	3612.80	2273.70	2753.90	2813.90	1725.40	2782.20	2791.30	2458.30	2038.20	2058.20	1500.50
12	3850.70	3950.60	2537.00	3060.60	3137.20	1839.40	3092.20	3113.60	2761.20	2221.80	2252.80	1553.50
Fibra sintética poliéster (fibra)												
2	4548.70	4616.80	<b>5886.40</b>	5288.60	5412.30	5659.80	5260.00	5419.20	5834.70	5509.60	5666.50	4824.60
3	4265.60	4322.60	5742.40	5078.80	5192.30	5684.60	5042.90	5198.20	5647.70	5432.80	5582.30	5003.30
4	1191.80	1177.60	1622.60	1387.10	1369.50	2371.20	1373.50	1372.80	1512.90	1808.30	1792.30	3253.40
5	1139.60	1126.40	1468.20	1293.60	1277.10	2075.10	1283.10	1279.90	1382.30	1628.90	1611.20	2926.90
6	1096.50	1084.20	1349.00	1218.60	1203.20	1832.90	1210.60	1205.80	1281.10	1487.40	1469.50	2612.80
7	982.35	975.91	907.57	938.86	930.26	928.90	940.15	929.86	907.85	933.96	923.90	992.57
8	1000.60	994.48	910.17	946.87	938.55	921.89	949.12	938.56	913.25	933.22	923.42	975.03
9	1022.80	1017.10	915.38	957.74	949.70	917.53	961.01	950.14	921.38	934.98	925.41	960.89
10	2913.90	2991.10	1763.30	2188.30	2232.70	1325.10	2215.60	2215.00	1912.80	1589.40	1601.50	1136.20
11	3242.80	3332.40	1979.80	2465.00	2525.50	1419.10	2497.90	2507.10	2169.80	1740.60	1760.90	1182.40
12	3572.50	3672.80	2246.00	2774.30	2851.50	1536.50	2811.40	2832.90	2476.90	1926.90	1958.30	1238.10
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
2	4481.70	4549.90	<b>5819.80</b>	5221.80	5345.50	5593.10	5193.20	5352.50	5768.10	5442.80	5599.80	4757.70
3	4198.60	4255.60	5675.80	5011.90	5125.50	5618.00	4976.10	5131.40	5581.00	5366.00	5515.50	4936.50
4	1122.30	1108.10	1554.10	1318.20	1300.60	2303.40	1304.50	1303.80	1444.10	1740.00	1724.00	3186.10
5	1070.00	1056.70	1399.50	1224.50	1207.90	2007.10	1213.90	1210.70	1313.30	1560.40	1542.70	2859.50
6	1026.70	1014.30	1280.10	1149.30	1133.90	1764.80	1141.20	1136.40	1211.90	1418.80	1400.80	2545.30
7	912.08	905.60	836.79	868.33	859.69	858.29	869.64	859.30	837.07	863.42	853.29	922.38
8	930.39	924.27	839.40	876.39	868.02	851.23	878.66	868.04	842.51	862.67	852.80	904.74
9	952.69	946.99	844.64	887.31	879.23	846.84	890.61	879.68	850.69	864.43	854.81	890.52
10	2846.40	2923.70	1695.10	2120.40	2164.90	1256.10	2147.80	2147.20	1844.70	1520.90	1533.10	1066.60
11	3175.50	3265.10	1911.70	2397.30	2457.90	1350.30	2430.30	2439.50	2101.90	1672.30	1692.60	1112.90
12	3505.30	3605.70	2178.10	2706.80	2784.00	1467.90	2743.90	2765.40	2409.20	1858.80	1890.30	1168.80
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	25.01	25.62	<b>28.39</b>	25.82	26.57	27.07	25.78	26.55	28.63	25.30	26.09	25.06

Tabla A.8. Tensiones y desplazamientos dinámicos, P10NL3AS45CD1P0FSP.

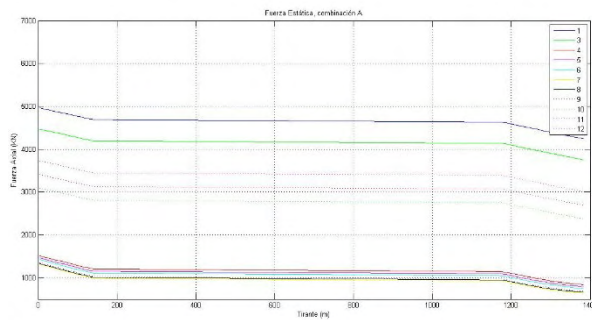
Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
2	8461.10	8334.90	8352.60	9845.60	9762.30	8241.20	9800.00	9787.70	8596.30	<b>10245.00</b>	10195.00	7339.30
3	7965.50	7835.70	8141.20	9458.40	9369.80	8227.50	9412.20	9407.10	8324.70	10128.00	10070.00	7538.40
4	2565.00	2503.50	2739.40	2920.50	2835.70	3868.90	2827.50	2755.20	2664.50	3849.00	3686.00	5175.40
5	2466.20	2407.60	2522.20	2755.20	2673.70	3436.80	2675.60	2602.80	2455.20	3409.00	3292.30	4719.30
6	2383.30	2323.60	2369.90	2617.90	2539.60	3107.90	2550.50	2475.30	2293.80	3121.40	3024.50	4274.50
7	2181.10	2124.40	1789.60	2187.90	2129.50	1860.50	2194.10	2139.90	1799.10	2271.10	2208.20	1943.80
8	2217.80	2150.80	1780.00	2198.60	2142.80	1848.80	2214.50	2162.10	1806.20	2275.70	2212.20	1924.30
9	2259.60	2186.00	1778.30	2220.00	2163.20	1843.20	2247.50	2193.20	1813.10	2286.00	2221.30	1905.50
10	6230.50	6208.60	3343.90	4665.10	4633.00	2474.00	4726.80	4574.30	3506.50	3163.90	3113.00	2023.70
11	6806.70	6782.80	3712.30	5198.00	5175.10	2637.50	5276.50	5124.10	3916.90	3472.30	3429.10	2091.70
12	7365.70	7338.70	4147.10	5768.10	5754.00	2844.60	5857.60	5710.10	4383.30	3856.80	3820.60	2185.90
Fibra sintética poliéster (fibra)												
2	8226.10	8099.20	8126.00	9608.10	9523.30	8013.40	9556.00	9543.70	8372.60	<b>10020.00</b>	9968.60	7099.10
3	7732.20	7601.70	7918.20	9229.40	9137.80	8001.20	9166.30	9161.20	8102.50	9904.80	9846.00	7302.10
4	2140.40	2085.30	2441.70	2580.10	2496.50	3604.90	2432.70	2368.20	2338.80	3578.40	3413.30	4934.40
5	2015.10	1963.60	2208.20	2378.60	2301.80	3167.20	2249.20	2185.70	2108.10	3117.20	3001.50	4469.40
6	1910.30	1861.60	2021.10	2214.20	2142.20	2832.70	2097.90	2033.20	1919.00	2803.60	2706.40	4018.80
7	1618.40	1567.50	1252.60	1580.10	1538.00	1315.70	1608.40	1563.70	1269.80	1641.90	1593.90	1434.70
8	1663.90	1607.50	1249.70	1594.50	1551.10	1300.40	1630.90	1586.50	1278.60	1640.20	1592.40	1406.70
9	1716.00	1659.00	1244.40	1613.70	1571.00	1290.30	1662.40	1618.30	1295.10	1645.50	1597.60	1384.70
10	5987.30	5964.70	3059.10	4404.30	4374.80	2108.60	4473.60	4319.40	3235.10	2822.90	2779.80	1597.60
11	6563.50	6539.10	3440.20	4944.60	4920.50	2296.70	5024.20	4871.60	3653.40	3162.70	3123.20	1679.20
12	7125.20	7097.80	3882.30	5519.60	5504.80	2529.50	5612.90	5463.70	4127.20	3573.60	3538.90	1792.20
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
2	8178.00	8050.90	8073.80	9559.80	9470.60	7960.70	9503.60	9490.60	8324.80	<b>9974.50</b>	9921.10	7047.20
3	7684.20	7553.50	7866.00	9184.60	9092.80	7952.00	9113.90	9107.10	8054.80	9859.20	9798.30	7250.10
4	2099.10	2043.20	2396.30	2545.50	2459.60	3561.50	2396.10	2328.90	2294.80	3540.40	3373.30	4889.90
5	1974.60	1922.40	2160.40	2344.20	2265.20	3122.10	2213.30	2147.30	2063.50	3081.90	2965.80	4425.10
6	1865.30	1815.40	1979.60	2176.50	2102.20	2789.70	2057.60	1991.60	1873.20	2768.40	2671.40	3974.60
7	1570.90	1515.20	1187.00	1527.70	1483.40	1257.90	1552.50	1509.10	1211.60	1592.70	1543.70	1381.90
8	1613.20	1555.10	1183.30	1540.20	1497.10	1241.70	1580.70	1536.90	1222.10	1591.40	1542.90	1351.10
9	1670.50	1611.90	1183.30	1565.80	1521.60	1229.90	1617.20	1571.20	1236.20	1596.00	1547.30	1329.30
10	5944.30	5921.10	3010.50	4364.70	4333.00	2060.50	4432.80	4277.20	3190.20	2782.30	2738.20	1544.00
11	6520.50	6495.60	3391.10	4903.70	4878.80	2248.20	4983.40	4829.20	3607.90	3124.00	3083.20	1628.00
12	7078.80	7051.60	3832.60	5479.10	5463.50	2481.00	5572.20	5421.90	4080.00	3535.30	3500.20	1740.80
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	45.30	45.00	38.10	<b>46.88</b>	46.55	37.11	46.81	46.54	40.42	46.19	45.95	35.14

Tabla A.9. Relaciones dinámicos-estáticos, P10NL3AS45CD1P0FSP.

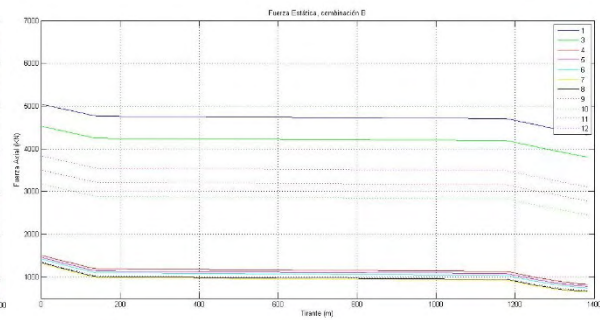
Sección	Línea	Combinación											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena FC	2	1.76	1.71	1.36	1.77	1.72	1.39	1.77	1.72	1.41	<b>1.77</b>	1.72	1.44
	3	1.76	1.71	1.36	1.77	1.72	1.39	1.77	1.72	1.41	1.78	1.72	1.43
	4	1.71	1.68	1.43	1.73	1.69	1.46	1.68	1.64	1.47	1.83	1.77	1.47
	5	1.70	1.67	1.43	1.72	1.69	1.45	1.68	1.64	1.45	1.77	1.72	1.47
	6	1.69	1.66	1.43	1.71	1.68	1.46	1.68	1.63	1.44	1.75	1.71	1.48
	7	1.67	1.64	1.44	1.73	1.70	1.48	1.74	1.71	1.45	1.80	1.77	1.48
	8	1.68	1.63	1.43	1.73	1.70	1.48	1.74	1.71	1.45	1.81	1.77	1.48
	9	1.68	1.64	1.42	1.73	1.70	1.48	1.75	1.73	1.45	1.81	1.78	1.48
	10	1.95	1.90	1.62	1.88	1.84	1.51	1.89	1.83	1.59	1.67	1.64	1.39
	11	1.93	1.88	1.63	1.89	1.84	1.53	1.90	1.84	1.59	1.70	1.67	1.39
	12	1.91	1.86	1.63	1.88	1.83	1.55	1.89	1.83	1.59	1.74	1.70	1.41
Fibra	2	1.81	1.75	1.38	1.82	1.76	1.42	1.82	1.76	1.43	<b>1.82</b>	1.76	1.47
	3	1.81	1.76	1.38	1.82	1.76	1.41	1.82	1.76	1.43	1.82	1.76	1.46
	4	1.80	1.77	1.50	1.86	1.82	1.52	1.77	1.73	1.55	1.98	1.90	1.52
	5	1.77	1.74	1.50	1.84	1.80	1.53	1.75	1.71	1.53	1.91	1.86	1.53
	6	1.74	1.72	1.50	1.82	1.78	1.55	1.73	1.69	1.50	1.88	1.84	1.54
	7	1.65	1.61	1.38	1.68	1.65	1.42	1.71	1.68	1.40	1.76	1.73	1.45
	8	1.66	1.62	1.37	1.68	1.65	1.41	1.72	1.69	1.40	1.76	1.72	1.44
	9	1.68	1.63	1.36	1.68	1.65	1.41	1.73	1.70	1.41	1.76	1.73	1.44
	10	2.05	1.99	1.73	2.01	1.96	1.59	2.02	1.95	1.69	1.78	1.74	1.41
	11	2.02	1.96	1.74	2.01	1.95	1.62	2.01	1.94	1.68	1.82	1.77	1.42
	12	1.99	1.93	1.73	1.99	1.93	1.65	2.00	1.93	1.67	1.85	1.81	1.45
Cadena SC	2	1.82	1.77	1.39	1.83	1.77	1.42	1.83	1.77	1.44	<b>1.83</b>	1.77	1.48
	3	1.83	1.77	1.39	1.83	1.77	1.42	1.83	1.77	1.44	1.84	1.78	1.47
	4	1.87	1.84	1.54	1.93	1.89	1.55	1.84	1.79	1.59	2.03	1.96	1.53
	5	1.85	1.82	1.54	1.91	1.88	1.56	1.82	1.77	1.57	1.98	1.92	1.55
	6	1.82	1.79	1.55	1.89	1.85	1.58	1.80	1.75	1.55	1.95	1.91	1.56
	7	1.72	1.67	1.42	1.76	1.73	1.47	1.79	1.76	1.45	1.84	1.81	1.50
	8	1.73	1.68	1.41	1.76	1.72	1.46	1.80	1.77	1.45	1.84	1.81	1.49
	9	1.75	1.70	1.40	1.76	1.73	1.45	1.82	1.79	1.45	1.85	1.81	1.49
	10	2.09	2.03	1.78	2.06	2.00	1.64	2.06	1.99	1.73	1.83	1.79	1.45
	11	2.05	1.99	1.77	2.05	1.98	1.66	2.05	1.98	1.72	1.87	1.82	1.46
	12	2.02	1.96	1.76	2.02	1.96	1.69	2.03	1.96	1.69	1.90	1.85	1.49
Desplazamiento lateral (m)													
SEMI		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		1.81	1.76	1.34	1.82	1.75	1.37	1.82	1.75	1.41	<b>1.83</b>	1.76	1.40

P10NL3AS45CD2P0FSP

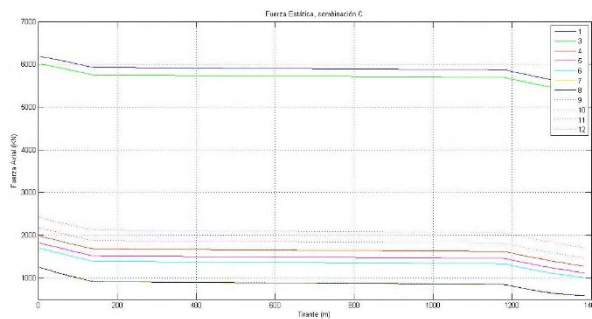
## TENSIONES ESTÁTICAS



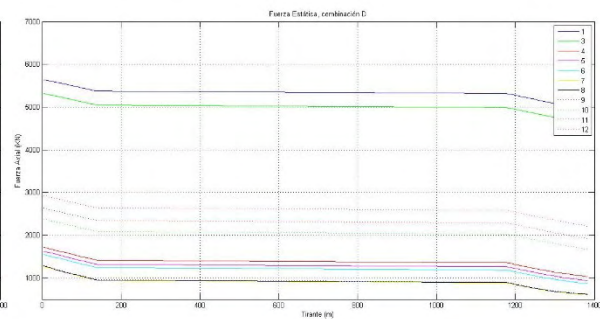
(A)



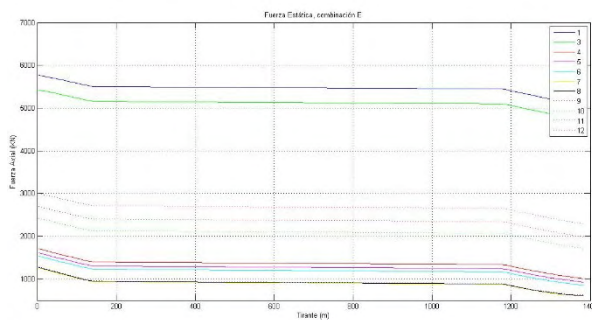
(B)



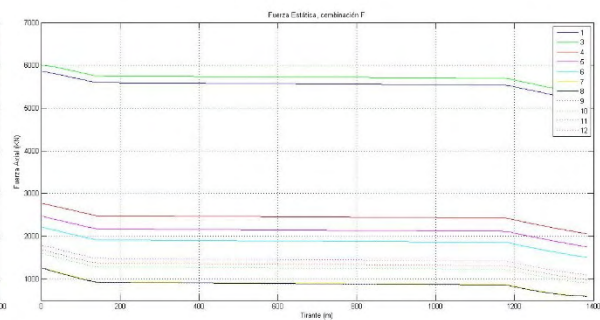
(C)



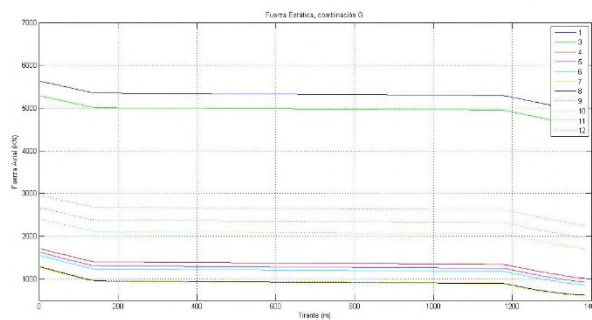
(D)



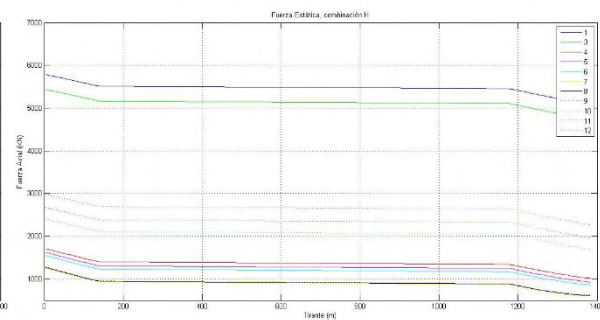
(E)



(F)



(G)



(H)



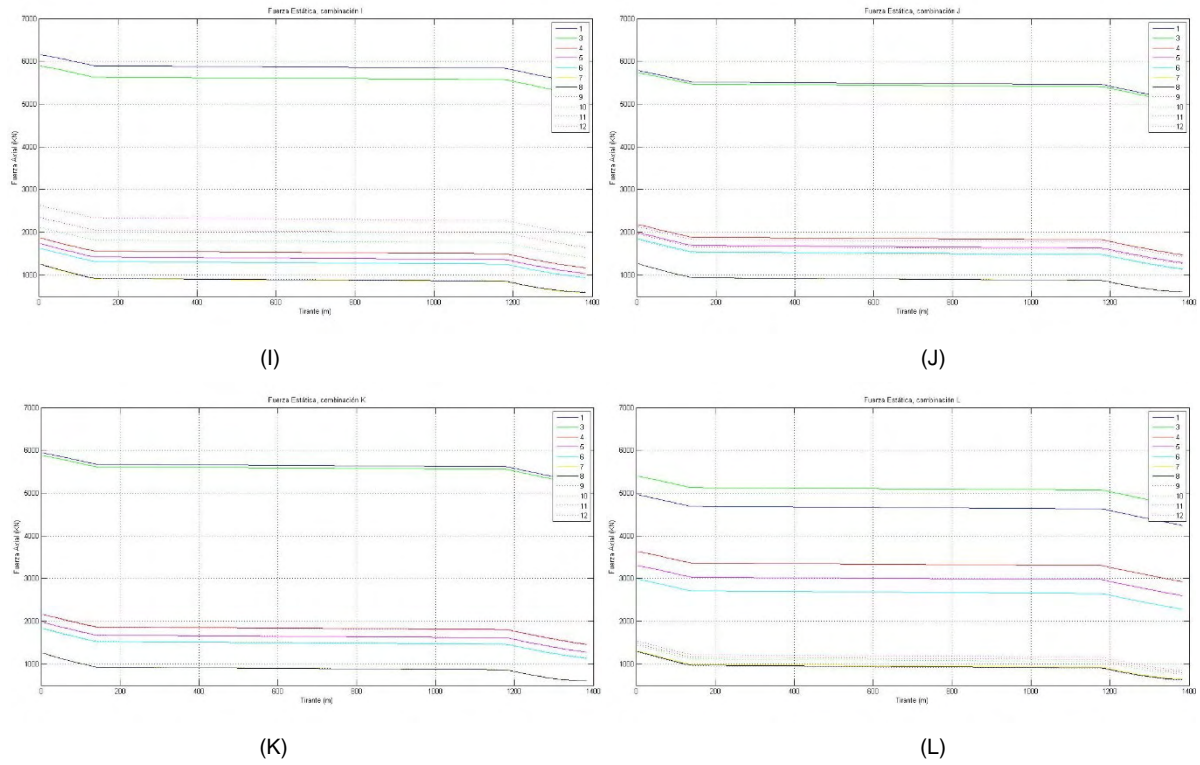
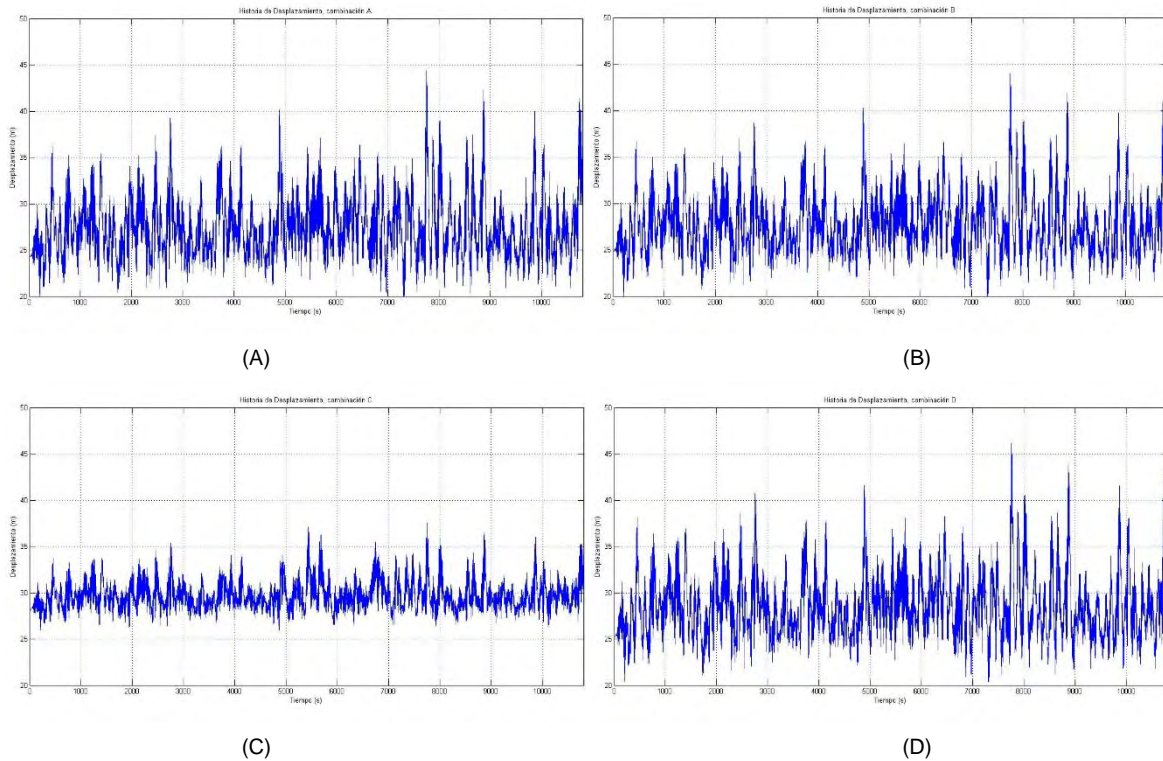


Figura A.10. Fuerzas axiales estáticas, P10NL3AS45CD2P0FSP.

## HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS DINÁMICOS



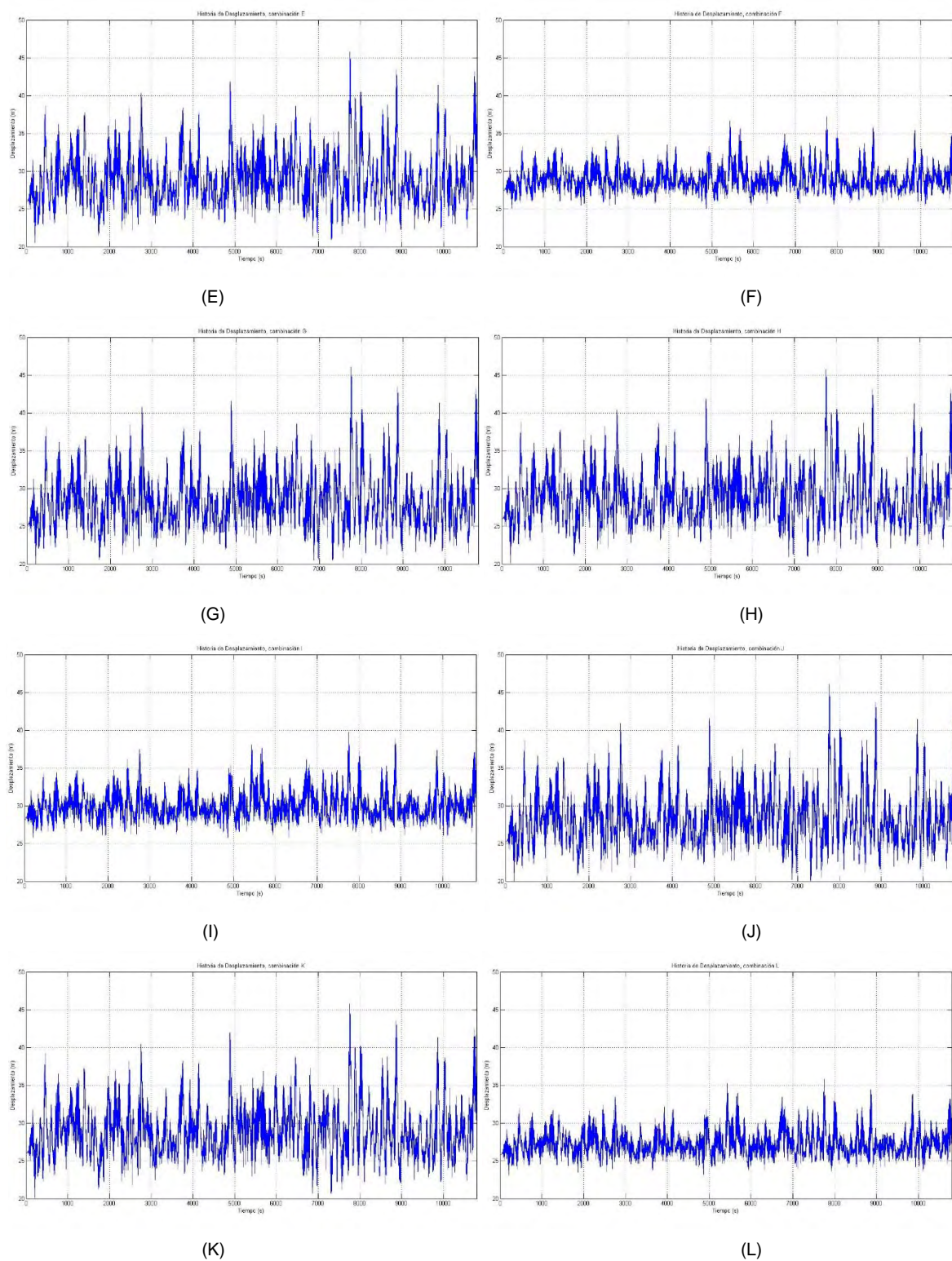
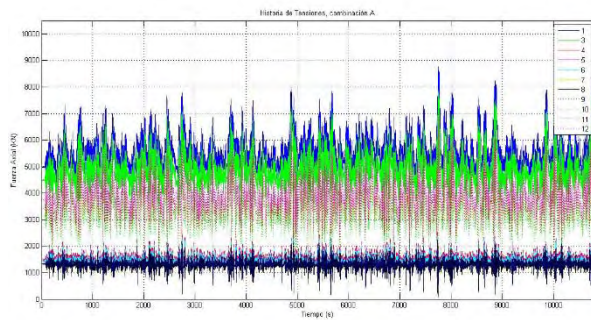


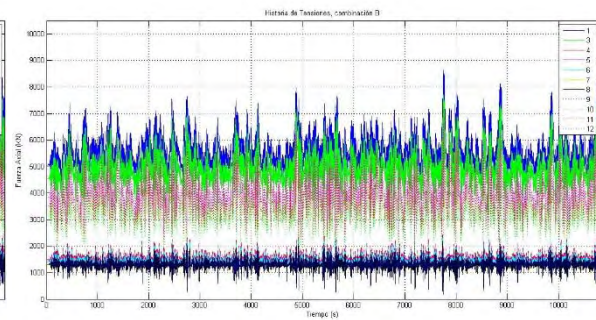
Figura A.11. Historia de Desplazamientos, P10NL3AS45CD2P0FSP.



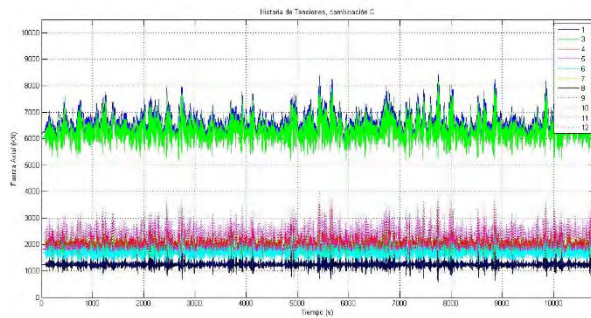
# HISTORIA DE TENSIONES



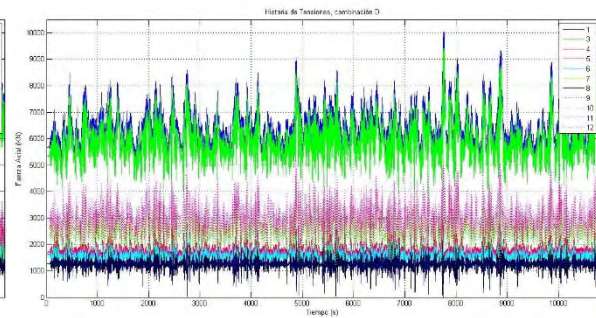
(A)



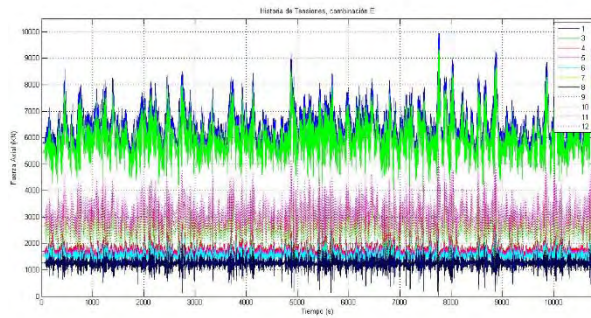
(B)



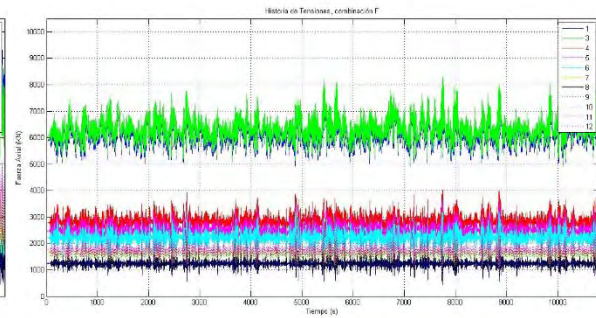
(C)



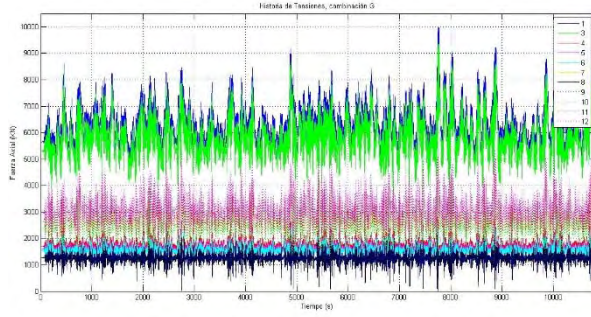
(D)



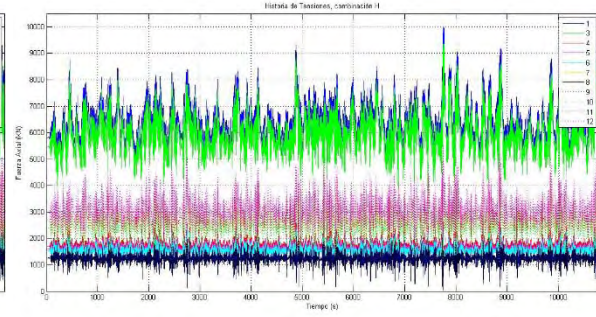
(E)



(F)



(G)



(H)

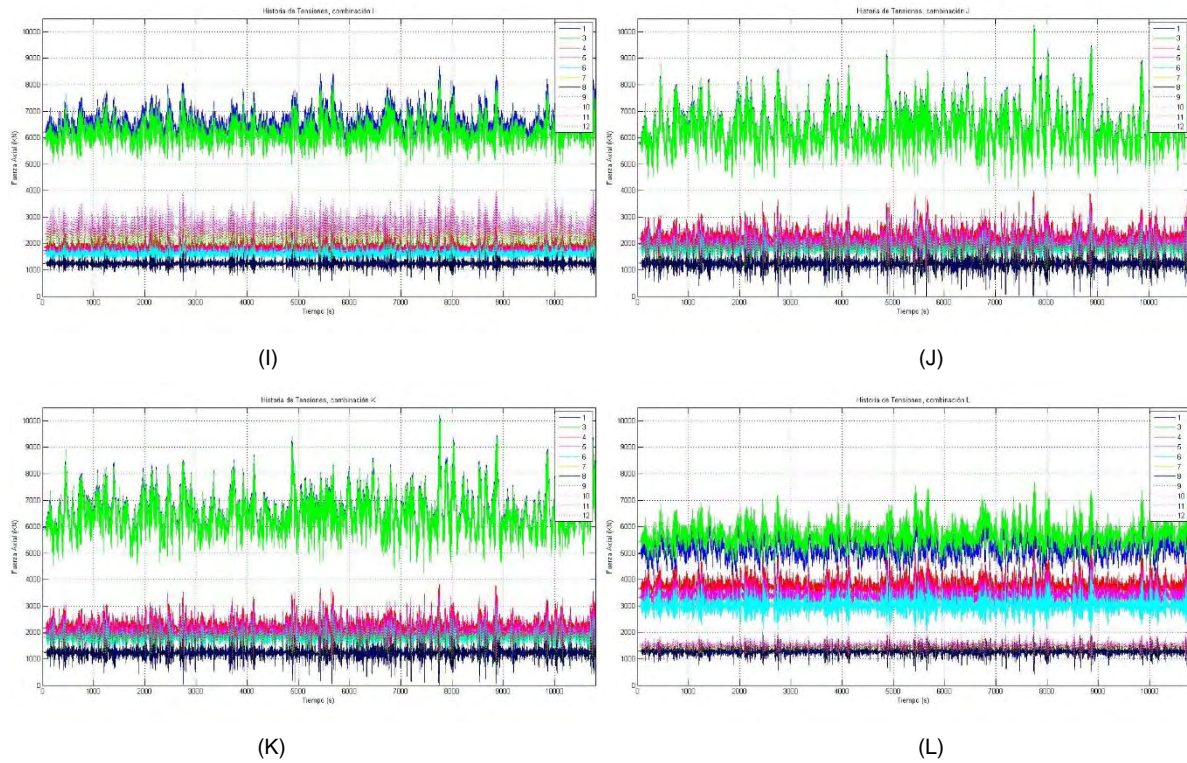
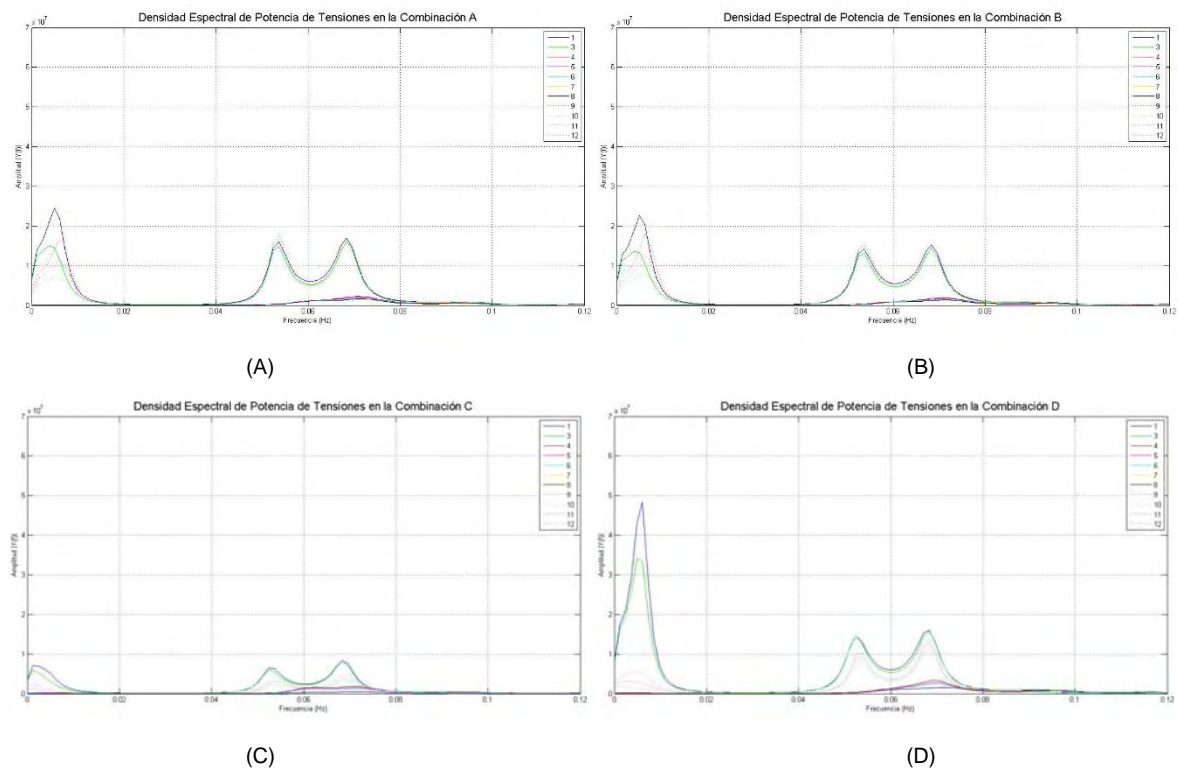


Figura A.12. Historia de tensiones dinámicas, P10NL3AS45CD2P0FSP.

## DISEÑO ESPECTRAL DE POTENCIA DE TENSIONES





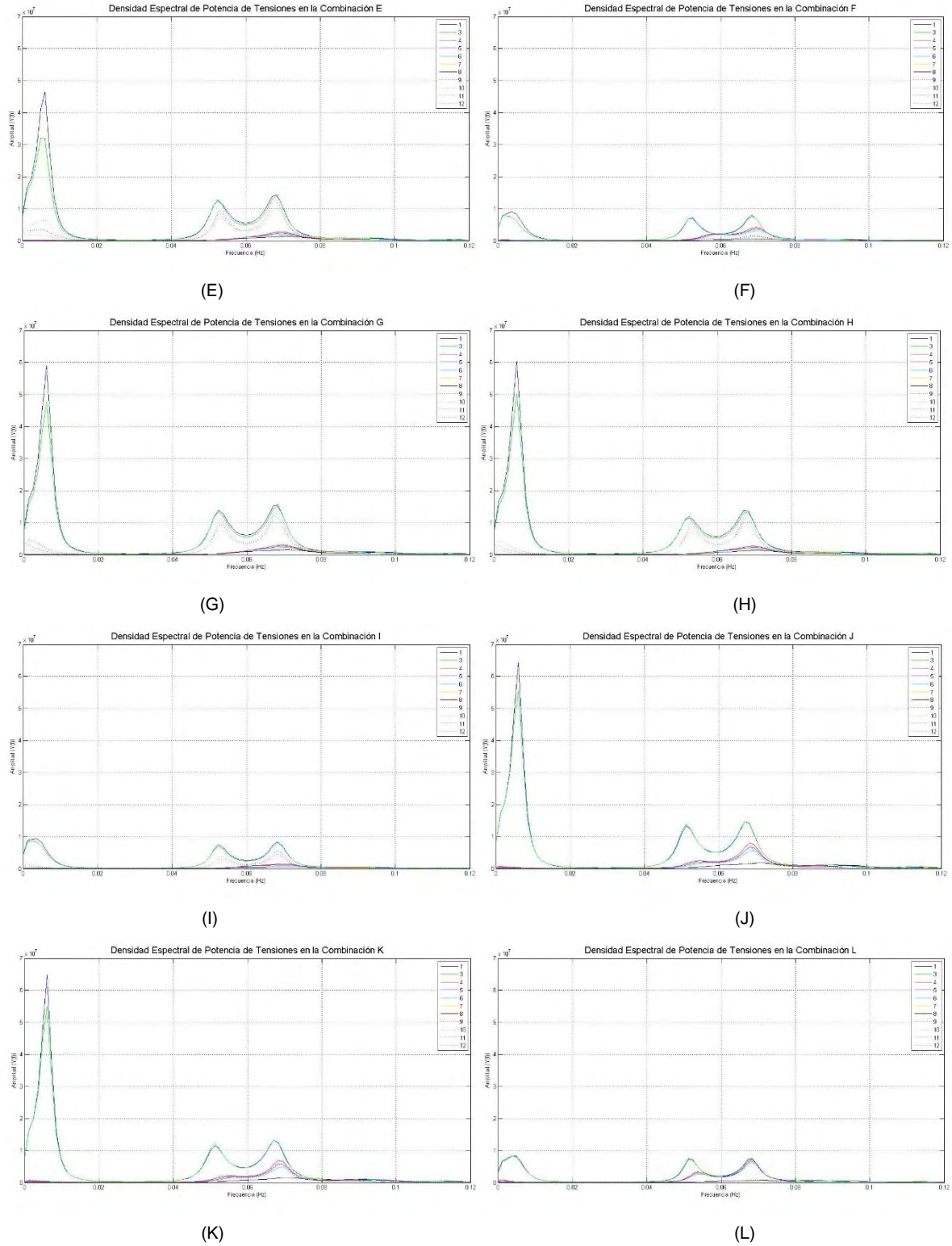


Figura A.13. Diseño espectral de potencia de tensiones, P10NL3AS45CD2P0FSP.

Tabla A.10. Tensiones y desplazamientos estáticos, P10NL3AS45CD2P0FSP.

Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
1	4956.50	5030.00	<b>6180.50</b>	5636.80	5765.30	5854.10	5618.30	5778.20	6150.60	5778.80	5938.40	4958.60
3	4465.50	4517.90	6002.30	5310.90	5420.80	6007.60	5278.20	5433.10	5887.70	5728.50	5876.10	5393.60
4	1514.00	1499.80	1977.30	1718.50	1700.40	2764.50	1707.10	1707.10	1860.00	2175.60	2160.40	3628.90
5	1464.60	1451.30	1817.50	1625.20	1608.30	2460.40	1617.60	1615.00	1727.00	1989.00	1971.70	3302.50
6	1423.70	1411.40	1693.60	1550.50	1534.70	2207.00	1545.90	1541.50	1624.20	1840.80	1823.00	2984.70
7	1313.00	1306.90	1242.90	1269.30	1261.00	1256.40	1268.40	1258.40	1243.60	1260.20	1250.60	1307.30
8	1330.20	1324.50	1245.20	1276.60	1268.60	1250.20	1276.20	1265.80	1247.60	1259.30	1249.90	1291.60
9	1351.30	1346.00	1249.90	1286.60	1278.90	1246.50	1286.70	1276.00	1254.10	1260.80	1251.60	1279.10
10	3094.80	3168.80	1977.20	2379.70	2420.00	1594.30	2402.50	2399.30	2111.30	1824.00	1833.10	1437.90
11	3409.70	3496.10	2170.50	2636.10	2691.60	1678.60	2663.60	2669.00	2341.70	1959.00	1975.00	1480.90
12	3728.10	3825.10	2412.40	2927.70	2999.70	1784.70	2958.80	2975.70	2622.50	2127.30	2152.80	1533.10
Fibra sintética poliéster (fibra)												
1	4689.00	4762.70	<b>5928.30</b>	5373.60	5502.50	5595.10	5351.20	5511.40	5896.90	5514.50	5674.40	4688.00
3	4194.30	4246.90	5750.30	5046.20	5156.40	5752.30	5007.80	5163.20	5630.40	5465.20	5613.10	5128.40
4	1204.20	1189.60	1679.80	1415.50	1397.00	2481.80	1400.90	1401.00	1558.10	1881.70	1866.40	3360.60
5	1152.70	1139.10	1516.70	1320.00	1302.70	2173.10	1308.70	1306.10	1421.70	1691.90	1674.30	3030.30
6	1110.00	1097.20	1390.20	1243.10	1226.90	1915.40	1234.40	1230.00	1315.40	1540.80	1522.60	2708.30
7	991.23	984.91	910.68	944.36	935.81	928.72	945.87	935.43	912.31	935.94	925.95	987.52
8	1009.70	1003.70	912.72	952.07	943.81	921.16	954.57	943.84	917.24	934.58	924.84	969.89
9	1032.10	1026.60	917.39	962.64	954.68	916.31	966.20	955.15	924.92	935.74	926.25	955.70
10	2810.50	2885.10	1678.80	2087.20	2127.90	1283.90	2113.60	2110.40	1817.40	1522.30	1531.60	1116.70
11	3128.30	3215.10	1875.30	2346.20	2402.30	1371.40	2378.30	2383.80	2051.80	1660.10	1676.40	1162.20
12	3449.30	3546.80	2120.10	2640.50	2713.00	1480.70	2677.00	2694.00	2337.00	1831.20	1857.10	1217.30
CADENA EN FONDO MARINO (CADENA SC)												
1	4622.00	4695.80	<b>5861.70</b>	5306.90	5435.70	5528.40	5284.40	5444.70	5830.30	5447.70	5607.60	4621.10
3	4127.30	4179.80	5683.70	4979.30	5089.60	5685.70	4941.00	5096.30	5563.70	5398.40	5546.40	5061.60
4	1134.80	1120.10	1611.30	1346.60	1328.10	2414.20	1332.00	1332.10	1489.50	1813.60	1798.20	3293.30
5	1083.20	1069.50	1448.10	1250.90	1233.60	2105.30	1239.60	1237.00	1352.80	1623.50	1605.90	2963.00
6	1040.20	1027.50	1321.30	1173.80	1157.60	1847.30	1165.10	1160.60	1246.30	1472.20	1454.00	2640.80
7	921.00	914.65	839.92	873.87	865.27	858.11	875.40	864.90	841.57	865.41	855.36	917.30
8	939.52	933.55	841.97	881.61	873.31	850.51	884.14	873.35	846.53	864.03	854.24	899.58
9	962.09	956.57	846.66	892.24	884.24	845.62	895.83	884.72	854.25	865.20	855.65	885.31
10	2743.10	2817.60	1610.50	2019.30	2060.00	1214.70	2045.80	2042.50	1749.30	1453.70	1463.00	1047.00
11	3060.90	3147.80	1807.10	2278.40	2334.50	1302.50	2310.60	2316.10	1983.90	1591.70	1608.00	1092.70
12	3382.10	3479.60	2052.20	2572.90	2645.40	1412.00	2609.40	2626.50	2269.30	1763.00	1788.90	1147.90
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	24.19	24.78	28.03	25.19	25.91	27.31	25.12	25.88	<b>28.07</b>	25.17	25.94	25.72

Tabla A.11. Tensiones y desplazamientos dinámicos, P10NL3AS45CD2P0FSP.

Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
1	8766.30	8630.40	8432.00	10030.00	9944.90	8194.20	9982.30	9959.20	8712.10	<b>10251.00</b>	10204.00	7173.50
3	7867.50	7725.80	8132.00	9400.40	9307.50	8289.80	9338.90	9340.40	8295.60	10164.00	10103.00	7676.10
4	2584.50	2521.10	2822.80	2971.40	2885.40	4017.50	2864.80	2792.70	2729.80	3977.50	3813.70	5302.10
5	2486.70	2426.40	2598.60	2804.30	2721.60	3574.80	2712.30	2640.20	2514.40	3524.00	3405.50	4844.30
6	2405.20	2345.30	2428.30	2664.90	2585.60	3224.90	2586.80	2512.10	2350.40	3225.30	3126.80	4391.20
7	2196.10	2139.40	1794.30	2198.20	2138.70	1861.10	2206.30	2148.50	1808.70	2278.10	2214.20	1937.50
8	2234.30	2165.10	1788.00	2209.50	2150.60	1851.80	2223.50	2171.10	1810.50	2281.20	2216.70	1913.30
9	2277.40	2204.90	1786.20	2227.50	2171.30	1846.00	2255.80	2202.10	1818.50	2289.60	2224.70	1902.80
10	6094.60	6064.90	3208.40	4506.30	4474.00	2388.60	4568.50	4414.60	3355.90	3049.90	2997.00	1993.00
11	6662.20	6630.30	3551.60	5019.40	4995.80	2539.90	5102.60	4948.50	3738.10	3333.00	3287.40	2058.50
12	7211.20	7175.60	3964.30	5574.70	5560.10	2732.90	5669.10	5519.50	4185.80	3697.20	3656.20	2148.50
Fibra sintética poliéster (fibra)												
1	8532.20	8394.90	8203.50	9803.50	9711.20	7963.10	9751.60	9719.90	8488.30	<b>10024.00</b>	9976.70	6929.90
3	7634.70	7491.80	7909.40	9174.40	9080.80	8063.80	9094.40	9092.30	8074.10	9940.90	9878.30	7439.60
4	2163.50	2106.80	2528.60	2637.30	2552.10	3755.40	2476.60	2412.60	2409.00	3711.20	3545.00	5062.70
5	2039.90	1987.00	2289.00	2434.50	2356.30	3307.20	2292.80	2229.60	2173.10	3238.00	3120.60	4594.60
6	1938.70	1888.60	2088.20	2269.00	2195.50	2952.50	2141.60	2076.80	1981.50	2916.70	2820.00	4138.00
7	1636.90	1587.70	1260.60	1593.40	1550.00	1316.10	1620.80	1577.60	1278.10	1648.60	1600.70	1424.40
8	1683.60	1627.70	1254.90	1606.60	1563.40	1300.50	1643.80	1598.80	1285.70	1645.40	1597.60	1397.50
9	1736.90	1680.70	1249.40	1626.00	1581.70	1290.20	1673.10	1628.60	1299.70	1649.20	1601.00	1374.60
10	5850.50	5819.90	2916.70	4242.00	4209.80	2014.60	4312.90	4157.80	3080.40	2704.30	2653.10	1562.20
11	6418.90	6385.50	3274.90	4765.70	4741.10	2193.40	4850.00	4694.30	3473.20	3016.40	2974.00	1641.20
12	6970.80	6934.40	3697.40	5325.70	5310.30	2412.30	5424.30	5272.90	3925.00	3407.50	3368.90	1750.00
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
1	8483.10	8345.70	8151.10	9754.90	9662.00	7910.10	9703.50	9670.30	8439.00	<b>9979.10</b>	9929.30	6878.20
3	7586.70	7442.80	7856.70	9129.10	9035.40	8014.40	9048.60	9041.40	8026.00	9895.20	9830.50	7387.70
4	2123.80	2065.70	2483.70	2602.90	2515.50	3712.20	2440.20	2373.60	2365.10	3673.10	3505.10	5018.00
5	2000.90	1946.60	2242.00	2400.40	2319.90	3262.60	2257.20	2191.50	2128.90	3203.50	3085.20	4550.10
6	1894.30	1842.70	2045.70	2231.90	2156.20	2909.90	2102.10	2036.10	1936.60	2884.00	2785.30	4093.50
7	1590.70	1533.60	1193.70	1540.20	1496.70	1258.40	1566.60	1522.50	1218.40	1599.60	1549.70	1371.80
8	1634.20	1577.20	1189.90	1552.20	1508.90	1240.90	1592.70	1548.40	1228.50	1596.40	1547.30	1341.60
9	1690.50	1633.20	1188.40	1576.10	1532.00	1228.00	1628.90	1582.80	1243.00	1599.40	1550.60	1318.50
10	5808.10	5775.30	2869.70	4206.20	4171.20	1965.10	4271.90	4115.60	3035.40	2664.50	2612.80	1508.20
11	6375.40	6340.90	3225.40	4724.80	4699.40	2144.90	4809.20	4652.20	3427.60	2977.40	2933.90	1589.20
12	6924.50	6887.40	3647.80	5285.00	5268.80	2363.60	5383.50	5231.00	3877.50	3369.10	3329.70	1698.20
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	44.38	44.01	37.56	46.11	45.77	37.21	46.00	45.73	39.77	<b>46.07</b>	45.80	35.81

Tabla A.12. Relaciones dinámicos-estáticos, P10NL3AS45CD2P0FSP.

Sección	Línea	Combinación											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena FC	1	1.77	1.72	1.36	1.78	1.72	1.40	1.78	1.72	1.42	<b>1.77</b>	1.72	1.45
	3	1.76	1.71	1.35	1.77	1.72	1.38	1.77	1.72	1.41	1.77	1.72	1.42
	4	1.71	1.68	1.43	1.73	1.70	1.45	1.68	1.64	1.47	1.83	1.77	1.46
	5	1.70	1.67	1.43	1.73	1.69	1.45	1.68	1.63	1.46	1.77	1.73	1.47
	6	1.69	1.66	1.43	1.72	1.68	1.46	1.67	1.63	1.45	1.75	1.72	1.47
	7	1.67	1.64	1.44	1.73	1.70	1.48	1.74	1.71	1.45	1.81	1.77	1.48
	8	1.68	1.63	1.44	1.73	1.70	1.48	1.74	1.72	1.45	1.81	1.77	1.48
	9	1.69	1.64	1.43	1.73	1.70	1.48	1.75	1.73	1.45	1.82	1.78	1.49
	10	1.97	1.91	1.62	1.89	1.85	1.50	1.90	1.84	1.59	1.67	1.63	1.39
	11	1.95	1.90	1.64	1.90	1.86	1.51	1.92	1.85	1.60	1.70	1.66	1.39
	12	1.93	1.88	1.64	1.90	1.85	1.53	1.92	1.85	1.60	1.74	1.70	1.40
Fibra	1	1.82	1.76	1.38	1.82	1.76	1.42	1.82	1.76	1.44	<b>1.82</b>	1.76	1.48
	3	1.82	1.76	1.38	1.82	1.76	1.40	1.82	1.76	1.43	1.82	1.76	1.45
	4	1.80	1.77	1.51	1.86	1.83	1.51	1.77	1.72	1.55	1.97	1.90	1.51
	5	1.77	1.74	1.51	1.84	1.81	1.52	1.75	1.71	1.53	1.91	1.86	1.52
	6	1.75	1.72	1.50	1.83	1.79	1.54	1.73	1.69	1.51	1.89	1.85	1.53
	7	1.65	1.61	1.38	1.69	1.66	1.42	1.71	1.69	1.40	1.76	1.73	1.44
	8	1.67	1.62	1.37	1.69	1.66	1.41	1.72	1.69	1.40	1.76	1.73	1.44
	9	1.68	1.64	1.36	1.69	1.66	1.41	1.73	1.71	1.41	1.76	1.73	1.44
	10	2.08	2.02	1.74	2.03	1.98	1.57	2.04	1.97	1.69	1.78	1.73	1.40
	11	2.05	1.99	1.75	2.03	1.97	1.60	2.04	1.97	1.69	1.82	1.77	1.41
	12	2.02	1.96	1.74	2.02	1.96	1.63	2.03	1.96	1.68	1.86	1.81	1.44
Cadena SC	1	1.84	1.78	1.39	1.84	1.78	1.43	1.84	1.78	1.45	<b>1.83</b>	1.77	1.49
	3	1.84	1.78	1.38	1.83	1.78	1.41	1.83	1.77	1.44	1.83	1.77	1.46
	4	1.87	1.84	1.54	1.93	1.89	1.54	1.83	1.78	1.59	2.03	1.95	1.52
	5	1.85	1.82	1.55	1.92	1.88	1.55	1.82	1.77	1.57	1.97	1.92	1.54
	6	1.82	1.79	1.55	1.90	1.86	1.58	1.80	1.75	1.55	1.96	1.92	1.55
	7	1.73	1.68	1.42	1.76	1.73	1.47	1.79	1.76	1.45	1.85	1.81	1.50
	8	1.74	1.69	1.41	1.76	1.73	1.46	1.80	1.77	1.45	1.85	1.81	1.49
	9	1.76	1.71	1.40	1.77	1.73	1.45	1.82	1.79	1.46	1.85	1.81	1.49
	10	2.12	2.05	1.78	2.08	2.02	1.62	2.09	2.01	1.74	1.83	1.79	1.44
	11	2.08	2.01	1.78	2.07	2.01	1.65	2.08	2.01	1.73	1.87	1.82	1.45
	12	2.05	1.98	1.78	2.05	1.99	1.67	2.06	1.99	1.71	1.91	1.86	1.48
Desplazamiento lateral (m)													
SEMI		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		1.83	1.78	1.34	1.83	1.77	1.36	1.83	1.77	1.42	<b>1.83</b>	1.77	1.39

Debido a la doble simetría de las líneas de amarre, solo se muestran las coordenadas de las primeras 3 o 4 líneas de amarre del sistema de amarre. Solamente la variable del ángulo de salida modifica las coordenadas del punto de anclaje, mientras que el punto de amarre permanece constante de acuerdo a la cantidad de líneas por columna.

Tabla A.13. Coordenadas de los puntos de amarre y de anclaje del sistema de amarre para 1,000 m de tirante de agua.

Modelo	Línea	Punto de amarre		
		X	Y	Z
Todos los modelos 3 líneas por columna	1	45.00	35.00	-19.00
	2	45.00	37.00	-19.00
	3	45.00	39.00	-19.00
Punto de anclaje				
P10NL3AS45	1	796.49	665.57	-1,000.00
	2	738.67	730.67	-1,000.00
	3	675.57	790.49	-1,000.00
P10NL3AS46	1	834.06	697.10	-1,000.00
	2	773.36	765.36	-1,000.00
	3	707.10	828.06	-1,000.00
P10NL3AS47	1	871.64	728.63	-1,000.00
	2	808.04	800.04	-1,000.00
	3	738.63	865.64	-1,000.00
Modelo	Línea	Punto de amarre		
		X	Y	Z
Todos los modelos 4 líneas por columna	1	45.00	36.00	-19.00
	2	45.00	38.00	-19.00
	3	45.00	40.00	-19.00
	4	45.00	42.00	-19.00
Punto de anclaje				
P10NL4AS45	1	823.28	633.19	-1,000.00
	2	768.27	700.75	-1,000.00
	3	707.75	763.27	-1,000.00
	4	642.19	820.28	-1000.00
P10NL4AS46	1	862.19	663.05	-1,000.00
	2	804.43	733.89	-1,000.00
	3	740.89	799.43	-1,000.00
	4	672.05	859.19	-1000.00
P10NL4AS47	1	901.11	692.91	-1,000.00
	2	840.60	767.03	-1,000.00
	3	774.03	835.60	-1,000.00
	4	701.91	898.11	-1000.00



Tabla A.14. Propiedades geométricas del sistema de amarre para 1,000 m de tirante de agua y 3 líneas por columna.

Modelo	Sección	Tipo	D (m)	MBL (KN)	Peso (TON)
P10NL3AS45CIP0FSP	Cadena FC	Studlink	0.124	14,358	560.60
P10NL3AS45CD1P0FSP	Fibra	Poliéster	0.223	13,734	599.75
P10NL3AS45CD2P0FSP	Cadena SC	Studlink	0.124	14,358	840.90
P10NL3AS45CIP1FSP	Cadena FC	Studlink	0.114	12,420	473.83
P10NL3AS45CD1P1FSP	Fibra	Poliéster	0.213	12,263	549.87
P10NL3AS45CD2P1FSP	Cadena SC	Studlink	0.114	12,420	715.86
P10NL3AS45CIP2FSP	Cadena FC	Studlink	0.111	11,856	455.69
P10NL3AS45CD1P2FSP	Fibra	Poliéster	0.201	10,987	494.28
P10NL3AS45CD2P2FSP	Cadena SC	Studlink	0.111	11,856	683.54
P10NL3AS46CIP0FSP	Cadena FC	Studlink	0.120	13,575	538.30
P10NL3AS46CD1P0FSP	Fibra	Poliéster	0.223	13,734	614.93
P10NL3AS46CD2P0FSP	Cadena SC	Studlink	0.120	13,575	834.59
P10NL3AS46CIP1FSP	Cadena FC	Studlink	0.114	12,420	489.23
P10NL3AS46CD1P1FSP	Fibra	Poliéster	0.213	12,263	563.69
P10NL3AS46CD2P1FSP	Cadena SC	Studlink	0.114	12,420	733.85
P10NL3AS46CIP2FSP	Cadena FC	Studlink	0.107	11,118	434.00
P10NL3AS46CD1P2FSP	Fibra	Poliéster	0.201	10,987	506.61
P10NL3AS46CD2P2FSP	Cadena SC	Studlink	0.107	11,118	651.01
P10NL3AS47CIP0FSP	Cadena FC	Studlink	0.117	12,993	524.64
P10NL3AS47CD1P0FSP	Fibra	Poliéster	0.213	12,263	573.88
P10NL3AS47CD2P0FSP	Cadena SC	Studlink	0.117	12,993	786.96
P10NL3AS47CIP1FSP	Cadena FC	Studlink	0.111	11,856	475.45
P10NL3AS47CD1P1FSP	Fibra	Poliéster	0.201	10,987	515.71
P10NL3AS47CD2P1FSP	Cadena SC	Studlink	0.111	11,856	713.17
P10NL3AS47CIP2FSP	Cadena FC	Studlink	0.107	11,118	444.81
P10NL3AS47CD1P2FSP	Fibra	Poliéster	0.201	10,987	519.23
P10NL3AS47CD2P2FSP	Cadena SC	Studlink	0.107	11,118	667.21

Tabla A.15. Propiedades geométricas del sistema de amarre para 1,000 m de tirante de agua y 4 líneas por columna.

Modelo	Sección	Tipo	D (m)	MBL (KN)	Peso (TON)
P10NL4AS45CIP0FSP	Cadena FC	Studlink	0.102	10,217	505.76
P10NL4AS45CD1P0FSP	Fibra	Poliéster	0.185	9,810	550.26
P10NL4AS45CD2P0FSP	Cadena SC	Studlink	0.102	10,217	758.65
P10NL4AS45CIP1FSP	Cadena FC	Studlink	0.100	9,001	441.89
P10NL4AS45CD1P1FSP	Fibra	Poliéster	0.185	8,829	506.75
P10NL4AS45CD2P1FSP	Cadena SC	Studlink	0.100	9,001	662.84
P10NL4AS45CIP2FSP	Cadena FC	Studlink	0.095	9,001	445.05
P10NL4AS45CD1P2FSP	Fibra	Poliéster	0.177	8,829	510.37
P10NL4AS45CD2P2FSP	Cadena SC	Studlink	0.095	9,001	667.58
P10NL4AS46CIP0FSP	Cadena FC	Studlink	0.100	9,864	498.43
P10NL4AS46CD1P0FSP	Fibra	Poliéster	0.185	9,810	564.18
P10NL4AS46CD2P0FSP	Cadena SC	Studlink	0.100	9,864	747.64
P10NL4AS46CIP1FSP	Cadena FC	Studlink	0.095	9,001	452.99
P10NL4AS46CD1P1FSP	Fibra	Poliéster	0.177	8,829	519.48
P10NL4AS46CD2P1FSP	Cadena SC	Studlink	0.095	9,001	679.49
P10NL4AS46CIP2FSP	Cadena FC	Studlink	0.095	8,497	427.80
P10NL4AS46CD1P2FSP	Fibra	Poliéster	0.177	7,848	471.18
P10NL4AS46CD2P2FSP	Cadena SC	Studlink	0.095	8,497	641.70
P10NL4AS47CIP0FSP	Cadena FC	Studlink	0.100	9,864	511.01
P10NL4AS47CD1P0FSP	Fibra	Poliéster	0.185	9,810	578.43
P10NL4AS47CD2P0FSP	Cadena SC	Studlink	0.100	9,864	766.52
P10NL4AS47CIP1FSP	Cadena FC	Studlink	0.095	9,001	464.35
P10NL4AS47CD1P1FSP	Fibra	Poliéster	0.177	8,829	532.50
P10NL4AS47CD2P1FSP	Cadena SC	Studlink	0.095	9,001	696.52
P10NL4AS47CIP2FSP	Cadena FC	Studlink	0.095	8,167	419.59
P10NL4AS47CD1P2FSP	Fibra	Poliéster	0.177	7,848	482.91
P10NL4AS47CD2P2FSP	Cadena SC	Studlink	0.095	8,167	629.39

Tabla A.16. Factores de seguridad mínimos para caso de estudio 1: 1,000 m de tirante de agua y 3 líneas.

Modelo	Análisis estático				Análisis dinámico			
	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	API-2RP-SK	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	API-2RP-SK
P10NL3AS45CIP0FSP	3.24	3.29	3.50	2.00	1.76	1.74	1.83	1.67
P10NL3AS45CD1P0FSP	2.34	2.33	2.47	1.43	1.40	1.37	1.44	1.25
P10NL3AS45CD2P0FSP	2.32	2.32	2.45	1.43	1.40	1.37	1.44	1.25
P10NL3AS45CIP1FSP	3.08	3.21	3.30	2.00	1.71	1.73	1.77	1.67
P10NL3AS45CD1P1FSP	2.23	2.29	2.35	1.43	1.35	1.36	1.39	1.25
P10NL3AS45CD2P1FSP	2.20	2.26	2.31	1.43	1.35	1.36	1.38	1.25
P10NL3AS45CIP2FSP	3.07	3.01	3.29	2.00	1.76	1.68	1.82	1.67
P10NL3AS45CD1P2FSP	2.26	2.18	2.37	1.43	1.38	1.31	1.42	1.25
P10NL3AS45CD2P2FSP	2.20	2.12	2.31	1.43	1.38	1.31	1.42	1.25
P10NL3AS46CIP0FSP	3.13	3.36	3.37	2.00	1.71	1.78	1.76	1.67
P10NL3AS46CD1P0FSP	2.26	2.38	2.38	1.43	1.35	1.40	1.39	1.25
P10NL3AS46CD2P0FSP	2.24	2.36	2.36	1.43	1.35	1.40	1.39	1.25
P10NL3AS46CIP1FSP	3.12	3.25	3.35	2.00	1.74	1.77	1.80	1.67
P10NL3AS46CD1P1FSP	2.26	2.32	2.38	1.43	1.37	1.38	1.41	1.25
P10NL3AS46CD2P1FSP	2.23	2.29	2.34	1.43	1.37	1.38	1.41	1.25
P10NL3AS46CIP2FSP	2.96	3.08	3.16	2.00	1.69	1.71	1.74	1.67
P10NL3AS46CD1P2FSP	2.17	2.22	2.27	1.43	1.31	1.32	1.35	1.25
P10NL3AS46CD2P2FSP	2.12	2.17	2.22	1.43	1.32	1.33	1.35	1.25
P10NL3AS47CIP0FSP	3.09	3.09	3.32	2.00	1.75	1.70	1.81	1.67
P10NL3AS47CD1P0FSP	2.23	2.19	2.34	1.43	1.38	1.33	1.42	1.25
P10NL3AS47CD2P0FSP	2.22	2.17	2.33	1.43	1.38	1.33	1.42	1.25
P10NL3AS47CIP1FSP	3.08	3.01	3.30	2.00	1.79	1.71	1.85	1.67
P10NL3AS47CD1P1FSP	2.23	2.14	2.34	1.43	1.36	1.29	1.40	1.25
P10NL3AS47CD2P1FSP	2.20	2.12	2.31	1.43	1.36	1.29	1.40	1.25
P10NL3AS47CIP2FSP	3.01	3.13	3.14	2.00	1.72	1.77	1.78	1.67
P10NL3AS47CD1P2FSP	2.20	2.26	2.31	1.43	1.33	1.34	1.37	1.25
P10NL3AS47CD2P2FSP	2.15	2.21	2.26	1.43	1.33	1.35	1.37	1.25

Tabla A.17. Factores de seguridad mínimos para caso de estudio 1: 1,000 m de tirante de agua y 4 líneas.

Modelo	Análisis estático				Análisis dinámico			
	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	API-2RP-SK	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	API-2RP-SK
P10NL4AS45CIP0FSP	3.20	3.24	3.43	2.00	1.73	1.71	1.79	1.67
P10NL4AS45CD1P0FSP	2.52	2.52	2.66	1.43	1.47	1.44	1.51	1.25
P10NL4AS45CD2P0FSP	2.52	2.53	2.67	1.43	1.47	1.45	1.52	1.25
P10NL4AS45CIP1FSP	3.11	3.22	3.33	2.00	1.71	1.72	1.76	1.67
P10NL4AS45CD1P1FSP	2.45	2.51	2.59	1.43	1.43	1.44	1.47	1.25
P10NL4AS45CD2P1FSP	2.43	2.48	2.56	1.43	1.43	1.44	1.47	1.25
P10NL4AS45CIP2FSP	3.22	3.33	3.46	2.00	1.75	1.76	1.81	1.67
P10NL4AS45CD1P2FSP	2.56	2.62	2.70	1.43	1.47	1.48	1.51	1.25
P10NL4AS45CD2P2FSP	2.51	2.57	2.65	1.43	1.47	1.47	1.51	1.25
P10NL4AS46CIP0FSP	3.14	3.29	3.36	2.00	1.71	1.74	1.76	1.67
P10NL4AS46CD1P0FSP	2.47	2.56	2.60	1.43	1.44	1.42	1.48	1.25
P10NL4AS46CD2P0FSP	2.47	2.56	2.61	1.43	1.44	1.47	1.48	1.25
P10NL4AS46CIP1FSP	3.14	3.25	3.37	2.00	1.73	1.74	1.79	1.67
P10NL4AS46CD1P1FSP	2.48	2.53	2.62	1.43	1.45	1.45	1.49	1.25
P10NL4AS46CD2P1FSP	2.45	2.51	2.59	1.43	1.44	1.44	1.48	1.25
P10NL4AS46CIP2FSP	3.14	3.06	3.36	2.00	1.77	1.68	1.83	1.67
P10NL4AS46CD1P2FSP	2.49	2.40	2.63	1.43	1.46	1.38	1.50	1.25
P10NL4AS46CD2P2FSP	2.45	2.36	2.58	1.43	1.45	1.37	1.50	1.25
P10NL4AS47CIP0FSP	3.16	3.31	3.38	2.00	1.72	1.76	1.78	1.67
P10NL4AS47CD1P0FSP	2.49	2.57	2.62	1.43	1.45	1.47	1.49	1.25
P10NL4AS47CD2P0FSP	2.49	2.58	2.62	1.43	1.45	1.48	1.49	1.25
P10NL4AS47CIP1FSP	3.17	3.28	3.40	2.00	1.75	1.77	1.81	1.67
P10NL4AS47CD1P1FSP	2.51	2.56	2.64	1.43	1.46	1.47	1.51	1.25
P10NL4AS47CD2P1FSP	2.48	2.53	2.62	1.43	1.45	1.46	1.50	1.25
P10NL4AS47CIP2FSP	3.08	3.11	3.29	2.00	1.74	1.71	1.79	1.67
P10NL4AS47CD1P2FSP	2.44	2.44	2.57	1.43	1.43	1.40	1.47	1.25
P10NL4AS47CD2P2FSP	2.40	2.40	2.53	1.43	1.42	1.39	1.46	1.25

Tabla A.18. Revisión de desplazamientos para caso de estudio 1: 1,000 m de tirante de agua y 3 líneas.

Modelo	Análisis estático			Análisis dinámico		
	Desp hor (m)	6% prof (60 m)	8% prof (80 m)	Desp hor (m)	6% prof (60 m)	8% prof (80 m)
P10NL3AS45CIP0FSP	20.99	cumple	cumple	39.23	cumple	cumple
P10NL3AS45CD1P0FSP	28.63	cumple	cumple	46.88	cumple	cumple
P10NL3AS45CD2P0FSP	28.07	cumple	cumple	46.11	cumple	cumple
P10NL3AS45CIP1FSP	38.42	cumple	cumple	56.61	cumple	cumple
P10NL3AS45CD1P1FSP	45.10	cumple	cumple	64.58	no cumple	cumple
P10NL3AS45CD2P1FSP	43.89	cumple	cumple	63.14	no cumple	cumple
P10NL3AS45CIP2FSP	56.87	cumple	cumple	74.89	no cumple	cumple
P10NL3AS45CD1P2FSP	63.08	no cumple	cumple	83.71	no cumple	no cumple
P10NL3AS45CD2P2FSP	62.32	no cumple	cumple	81.79	no cumple	no cumple
P10NL3AS46CIP0FSP	20.36	cumple	cumple	38.56	cumple	cumple
P10NL3AS46CD1P0FSP	28.02	cumple	cumple	46.18	cumple	cumple
P10NL3AS46CD2P0FSP	27.48	cumple	cumple	45.43	cumple	cumple
P10NL3AS46CIP1FSP	37.34	cumple	cumple	55.41	cumple	cumple
P10NL3AS46CD1P1FSP	44.04	cumple	cumple	63.28	no cumple	cumple
P10NL3AS46CD2P1FSP	42.86	cumple	cumple	61.81	no cumple	cumple
P10NL3AS46CIP2FSP	55.84	cumple	cumple	73.74	no cumple	cumple
P10NL3AS46CD1P2FSP	61.75	no cumple	cumple	82.31	no cumple	no cumple
P10NL3AS46CD2P2FSP	61.02	no cumple	cumple	80.36	no cumple	no cumple
P10NL3AS47CIP0FSP	21.48	cumple	cumple	39.88	cumple	cumple
P10NL3AS47CD1P0FSP	29.84	cumple	cumple	48.07	cumple	cumple
P10NL3AS47CD2P0FSP	29.30	cumple	cumple	47.28	cumple	cumple
P10NL3AS47CIP1FSP	38.39	cumple	cumple	56.61	cumple	cumple
P10NL3AS47CD1P1FSP	45.50	cumple	cumple	65.26	no cumple	cumple
P10NL3AS47CD2P1FSP	44.35	cumple	cumple	63.83	no cumple	cumple
P10NL3AS47CIP2FSP	54.50	no cumple	cumple	72.25	no cumple	cumple
P10NL3AS47CD1P2FSP	60.47	no cumple	cumple	81.01	no cumple	no cumple
P10NL3AS47CD2P2FSP	59.76	cumple	cumple	79.06	no cumple	cumple

Tabla A.19. Revisión de desplazamientos para caso de estudio 1: 1,000 m de tirante de agua y 4 líneas.

Modelo	Análisis estático			Análisis dinámico		
	Desp hor (m)	6% tirante (60 m)	8% tirante (80 m)	Desp hor (m)	6% tirante (60 m)	8% tirante (80 m)
P10NL4AS45CIP0FSP	21.62	cumple	cumple	40.13	cumple	cumple
P10NL4AS45CD1P0FSP	27.17	cumple	cumple	45.16	cumple	cumple
P10NL4AS45CD2P0FSP	26.83	cumple	cumple	44.64	cumple	cumple
P10NL4AS45CIP1FSP	37.82	cumple	cumple	55.43	cumple	cumple
P10NL4AS45CD1P1FSP	41.67	cumple	cumple	60.18	no cumple	cumple
P10NL4AS45CD2P1FSP	40.89	cumple	cumple	59.30	cumple	cumple
P10NL4AS45CIP2FSP	56.33	cumple	cumple	73.17	no cumple	cumple
P10NL4AS45CD1P2FSP	60.35	no cumple	cumple	78.90	no cumple	cumple
P10NL4AS45CD2P2FSP	59.25	cumple	cumple	77.74	no cumple	cumple
P10NL4AS46CIP0FSP	21.05	cumple	cumple	39.38	cumple	cumple
P10NL4AS46CD1P0FSP	26.57	cumple	cumple	44.59	cumple	cumple
P10NL4AS46CD2P0FSP	26.24	cumple	cumple	44.13	cumple	cumple
P10NL4AS46CIP1FSP	38.50	cumple	cumple	56.39	cumple	cumple
P10NL4AS46CD1P1FSP	42.67	cumple	cumple	61.36	no cumple	cumple
P10NL4AS46CD2P1FSP	41.89	cumple	cumple	60.47	no cumple	cumple
P10NL4AS46CIP2FSP	54.80	cumple	cumple	71.61	no cumple	cumple
P10NL4AS46CD1P2FSP	58.83	cumple	cumple	77.63	no cumple	cumple
P10NL4AS46CD2P2FSP	57.73	cumple	cumple	76.30	no cumple	cumple
P10NL4AS47CIP0FSP	20.63	cumple	cumple	38.60	cumple	cumple
P10NL4AS47CD1P0FSP	25.84	cumple	cumple	43.56	cumple	cumple
P10NL4AS47CD2P0FSP	26.17	cumple	cumple	44.05	cumple	cumple
P10NL4AS47CIP1FSP	37.62	cumple	cumple	55.23	cumple	cumple
P10NL4AS47CD1P1FSP	41.77	cumple	cumple	60.75	no cumple	cumple
P10NL4AS47CD2P1FSP	40.97	cumple	cumple	59.76	cumple	cumple
P10NL4AS47CIP2FSP	55.57	cumple	cumple	72.94	no cumple	cumple
P10NL4AS47CD1P2FSP	57.49	cumple	cumple	76.02	no cumple	cumple
P10NL4AS47CD2P2FSP	56.41	cumple	cumple	74.78	no cumple	cumple



Tabla A.20. Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos, 1,000 m de tirante de agua y 3 líneas.

Modelo	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	Desplazamiento horizontal
P10NL3AS45CIP0FSP	1.97	2.05	2.07	2.05
P10NL3AS45CD1P0FSP	1.77	1.82	1.82	1.83
P10NL3AS45CD2P0FSP	1.77	1.82	1.83	1.83
P10NL3AS45CIP1FSP	1.98	2.06	2.08	1.61
P10NL3AS45CD1P1FSP	1.78	1.82	1.83	1.53
P10NL3AS45CD2P1FSP	1.79	1.83	1.84	1.54
P10NL3AS45CIP2FSP	1.94	2.02	2.04	1.43
P10NL3AS45CD1P2FSP	1.78	1.81	1.82	1.41
P10NL3AS45CD2P2FSP	1.78	1.81	1.83	1.42
P10NL3AS46CIP0FSP	1.96	2.04	2.06	2.07
P10NL3AS46CD1P0FSP	1.77	1.81	1.83	1.83
P10NL3AS46CD2P0FSP	1.77	1.81	1.83	1.84
P10NL3AS46CIP1FSP	1.96	2.04	2.06	1.62
P10NL3AS46CD1P1FSP	1.78	1.82	1.83	1.54
P10NL3AS46CD2P1FSP	1.78	1.81	1.83	1.54
P10NL3AS46CIP2FSP	1.95	2.03	2.05	1.44
P10NL3AS46CD1P2FSP	1.79	1.83	1.84	1.41
P10NL3AS46CD2P2FSP	1.79	1.82	1.83	1.42
P10NL3AS47CIP0FSP	1.89	1.96	1.98	2.02
P10NL3AS47CD1P0FSP	1.72	1.76	1.77	1.78
P10NL3AS47CD2P0FSP	1.72	1.75	1.77	1.79
P10NL3AS47CIP1FSP	1.90	1.97	1.99	1.61
P10NL3AS47CD1P1FSP	1.76	1.80	1.81	1.54
P10NL3AS47CD2P1FSP	1.76	1.80	1.81	1.54
P10NL3AS47CIP2FSP	1.94	2.02	2.04	1.44
P10NL3AS47CD1P2FSP	1.80	1.84	1.85	1.42
P10NL3AS47CD2P2FSP	1.80	1.84	1.85	1.43

Tabla A.21. Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos, 1,000 m de tirante de agua y 4 líneas.

Modelo	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	Desplazamiento horizontal
P10NL4AS45CIP0FSP	1.95	2.03	2.05	2.03
P10NL4AS45CD1P0FSP	1.81	1.86	1.87	1.86
P10NL4AS45CD2P0FSP	1.81	1.86	1.87	1.87
P10NL4AS45CIP1FSP	2.02	2.09	2.12	1.63
P10NL4AS45CD1P1FSP	1.84	1.89	1.91	1.56
P10NL4AS45CD2P1FSP	1.84	1.88	1.90	1.56
P10NL4AS45CIP2FSP	1.98	2.05	2.08	1.44
P10NL4AS45CD1P2FSP	1.83	1.87	1.88	1.41
P10NL4AS45CD2P2FSP	1.82	1.86	1.88	1.41
P10NL4AS46CIP0FSP	1.95	2.02	2.04	2.05
P10NL4AS46CD1P0FSP	1.81	1.86	1.87	1.88
P10NL4AS46CD2P0FSP	1.81	1.85	1.87	1.88
P10NL4AS46CIP1FSP	1.94	2.01	2.03	1.61
P10NL4AS46CD1P1FSP	1.82	1.86	1.87	1.56
P10NL4AS46CD2P1FSP	1.82	1.86	1.87	1.56
P10NL4AS46CIP2FSP	1.97	2.04	2.07	1.44
P10NL4AS46CD1P2FSP	1.83	1.88	1.89	1.42
P10NL4AS46CD2P2FSP	1.83	1.88	1.89	1.42
P10NL4AS47CIP0FSP	1.94	2.00	2.03	2.07
P10NL4AS47CD1P0FSP	1.81	1.85	1.87	1.89
P10NL4AS47CD2P0FSP	1.81	1.85	1.87	1.89
P10NL4AS47CIP1FSP	1.94	2.01	2.03	1.63
P10NL4AS47CD1P1FSP	1.82	1.86	1.87	1.57
P10NL4AS47CD2P1FSP	1.81	1.85	1.86	1.57
P10NL4AS47CIP2FSP	1.97	2.05	2.07	1.45
P10NL4AS47CD1P2FSP	1.85	1.89	1.91	1.43
P10NL4AS47CD2P2FSP	1.84	1.89	1.90	1.43

## A.2 Caso de estudio 2: 1,500 m de tirante de agua

Resultados correspondientes a 3 líneas por columna, ángulo de salida de 45° y pretensión asociada a una longitud 1.00L, condición intacta y condiciones dañadas. La condición dañada 1 corresponde cuando el sistema ha perdido la línea 3, y la condición dañada 2 corresponde a la pérdida de la línea 2.

### COORDENADAS Y PROPIEDADES DE LAS LÍNEAS DE AMARRE

Tabla A.22. Coordenadas de los puntos de amarre y de anclaje del sistema de amarre, P15NL3AS45CIP0FSP.

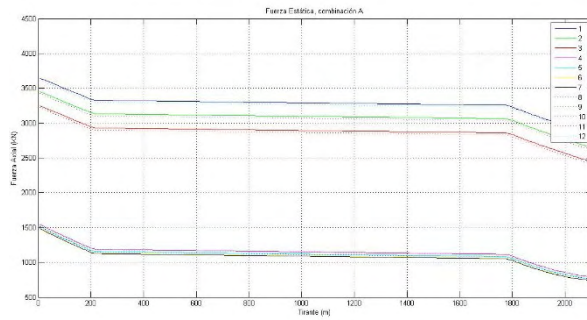
Línea	Coordenadas (m)					
	Punto de amarre			Punto de anclaje		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	45.00	35.00	-19.00	1179.50	986.97	-1500.00
2	45.00	37.00	-19.00	1092.20	1084.20	-1500.00
3	45.00	39.00	-19.00	996.97	1173.50	-1500.00
4	-45.00	39.00	-19.00	-996.97	1173.50	-1500.00
5	-45.00	37.00	-19.00	-1092.20	1084.20	-1500.00
6	-45.00	35.00	-19.00	-1179.50	986.97	-1500.00
7	-45.00	-35.00	-19.00	-1179.50	-986.97	-1500.00
8	-45.00	-37.00	-19.00	-1092.20	-1084.20	-1500.00
9	-45.00	-39.00	-19.00	-996.97	-1173.50	-1500.00
10	45.00	-39.00	-19.00	996.97	-1173.50	-1500.00
11	45.00	-37.00	-19.00	1092.20	-1084.20	-1500.00
12	45.00	-35.00	-19.00	1179.50	-986.97	-1500.00

Tabla A.23. Propiedades de las líneas de amarre, P15NL3AS45CIP0FSP.

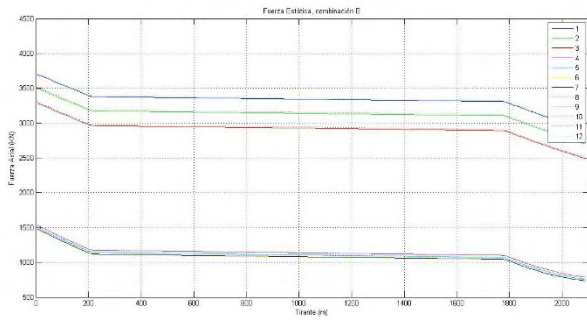
Sección	Tipo	D (m)	MBL (KN)	mpu (kg/m)	Longitud (m)	Peso (ton)
Cadena en zona de marea (cadena FC)	Studlink	0.107	11118	250.73	209.45	630.18
Fibra sintética (fibra)	Poliéster	0.201	10987	39.02	1570.84	735.61
Cadena en fondo marino (cadena SC)	Studlink	0.105	10754	241.45	314.17	910.26

P15NL3AS45CIP0FSP

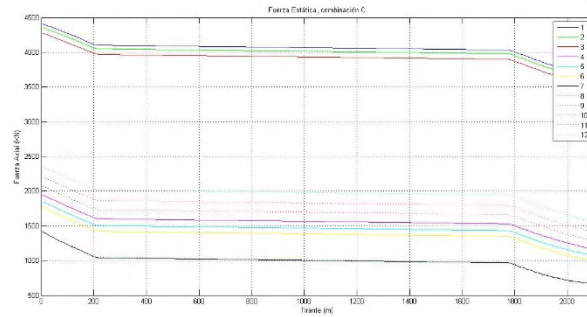
## TENSIONES ESTÁTICAS



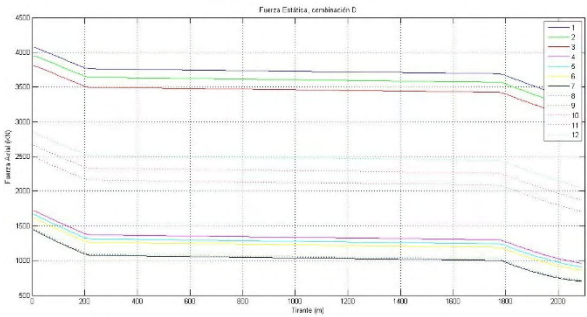
(A)



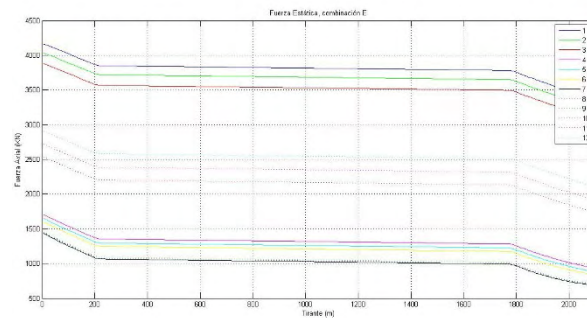
(B)



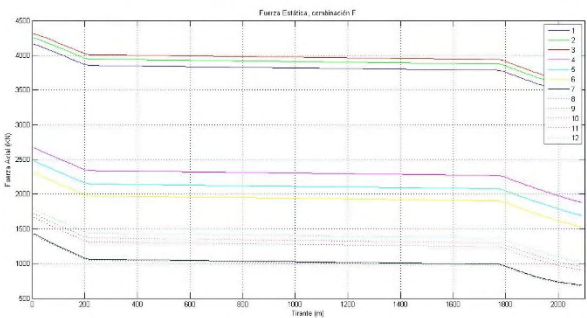
(C)



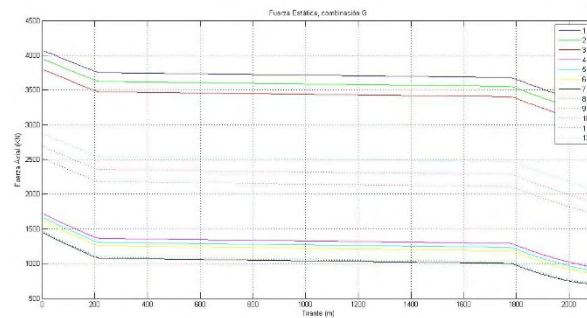
(D)



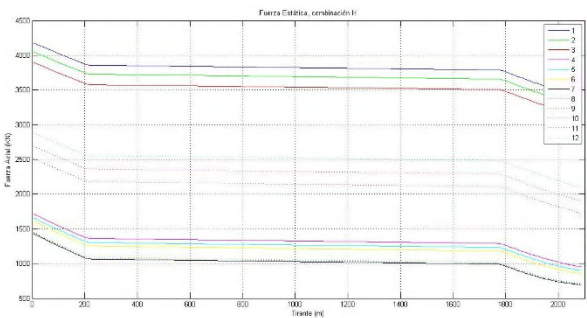
(E)



(F)



(G)



(H)

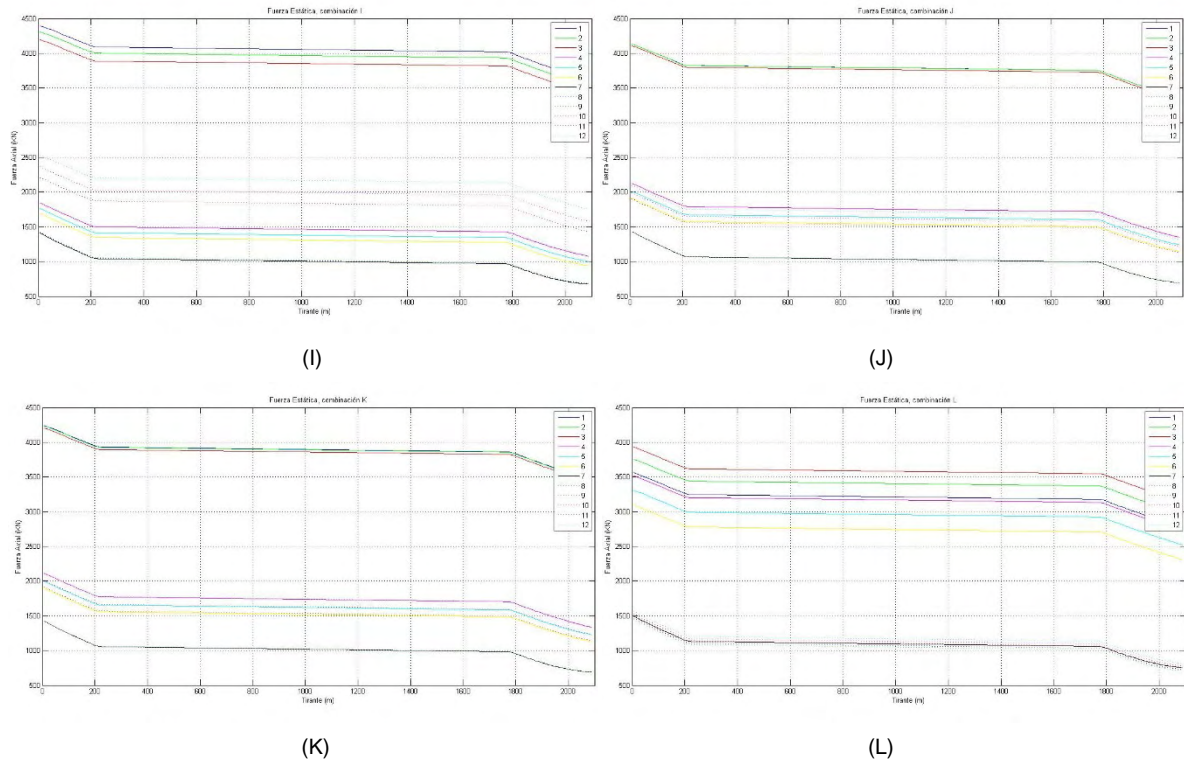
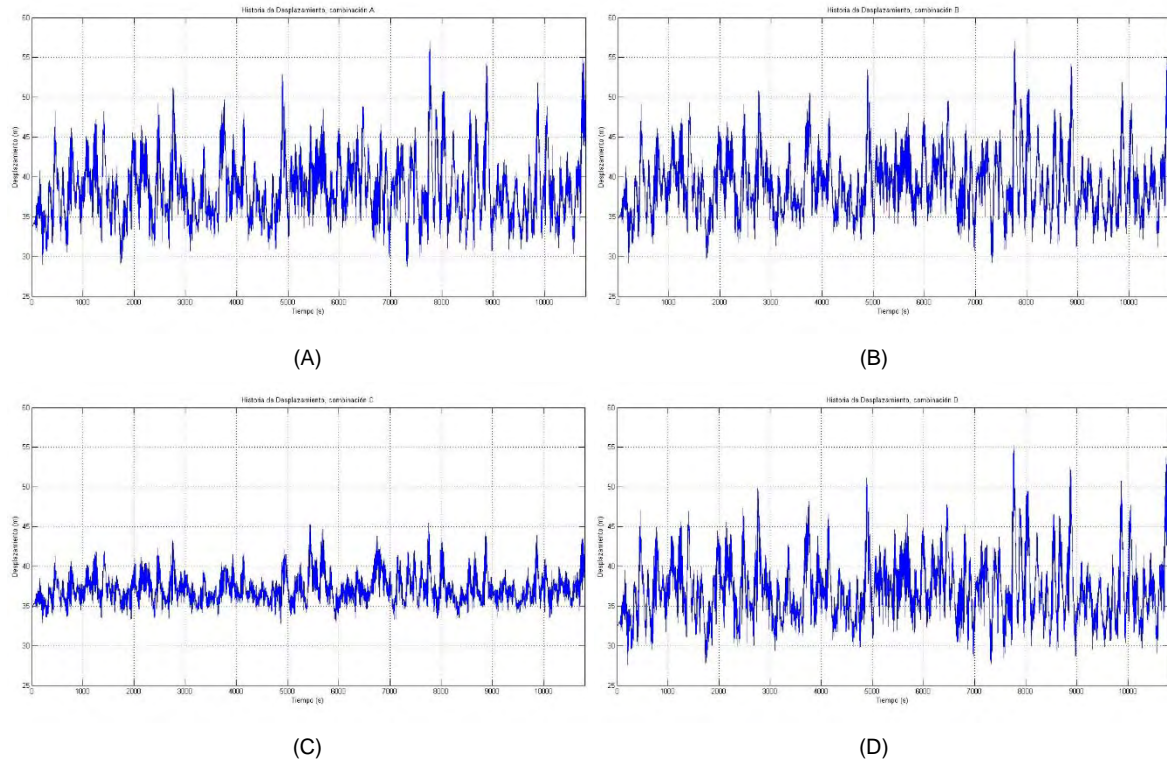


Figura A.14. Fuerzas axiales estáticas, P15NL3AS45CIP0FSP.

## HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS DINÁMICOS





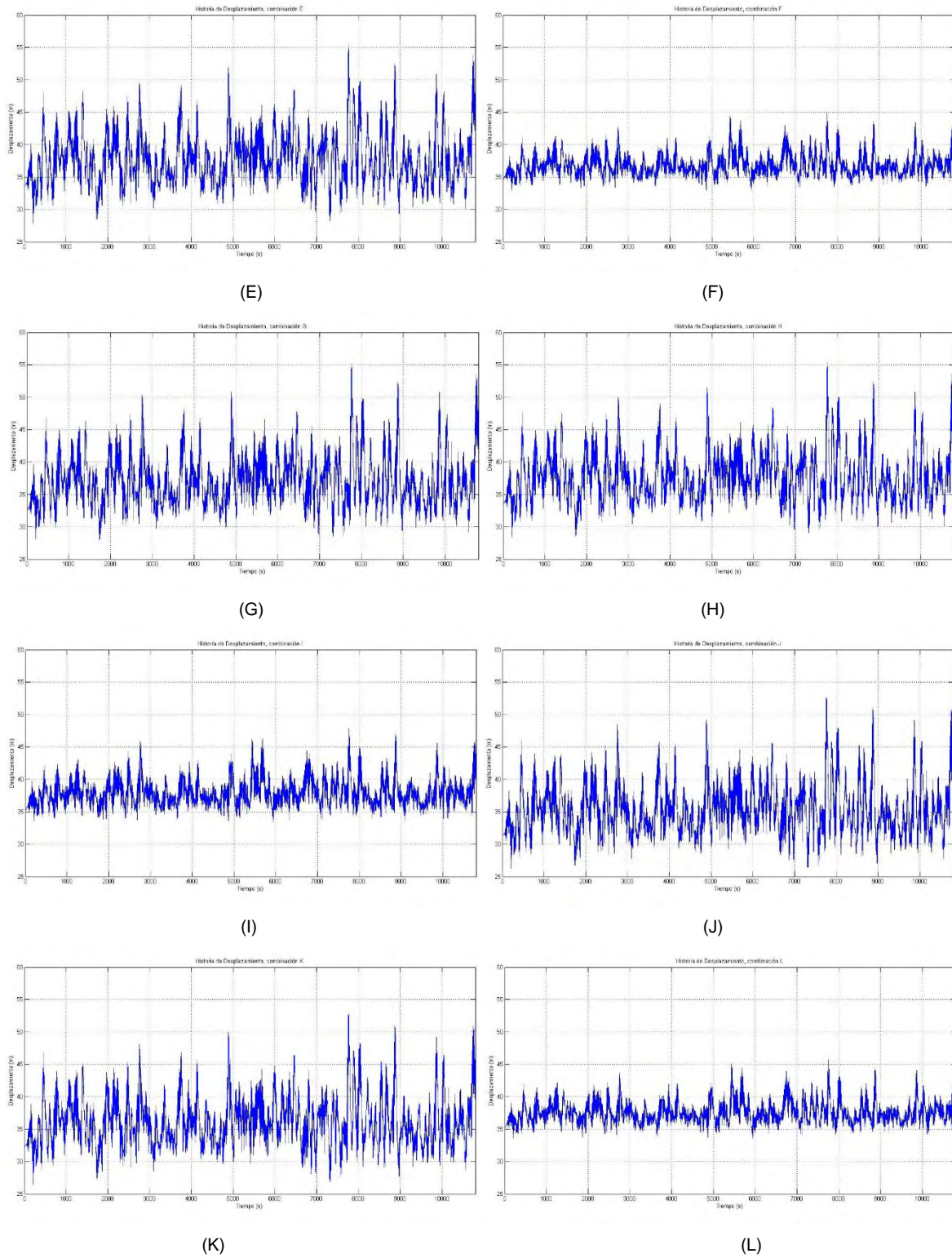
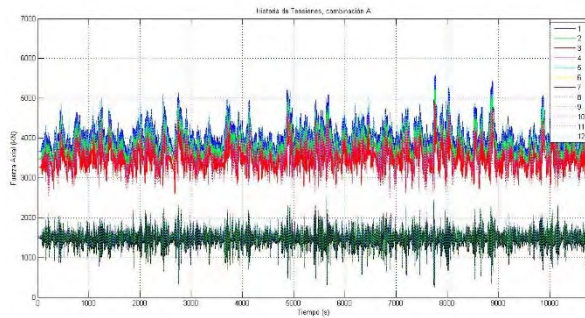


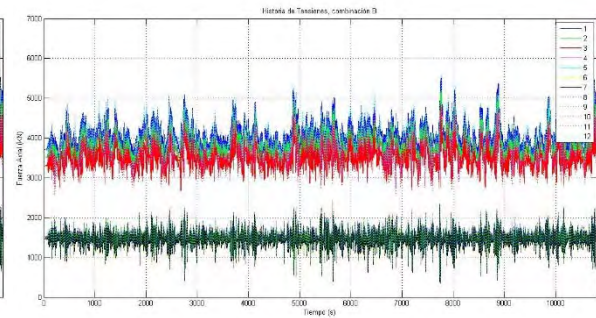
Figura A.15. Historia de Desplazamientos, P15NL3AS45CIP0FSP.



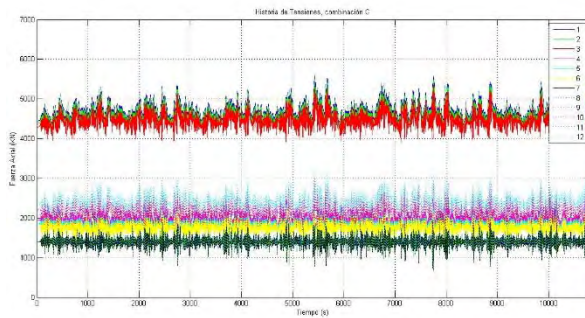
## HISTORIA DE TENSIONES



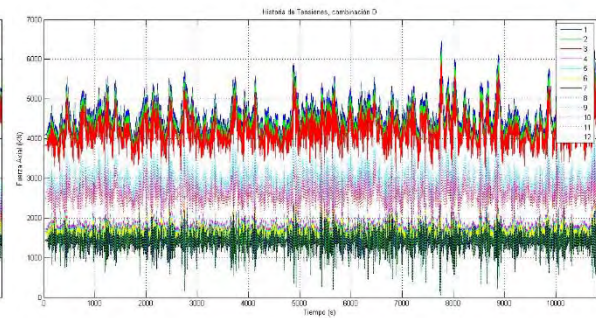
(A)



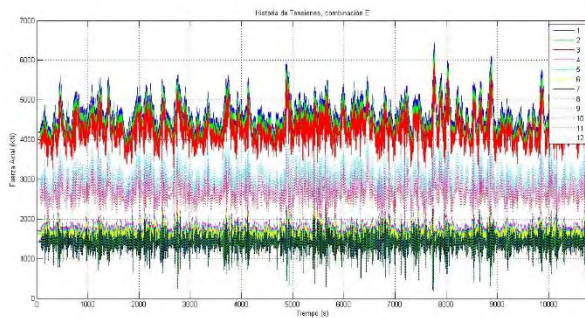
(B)



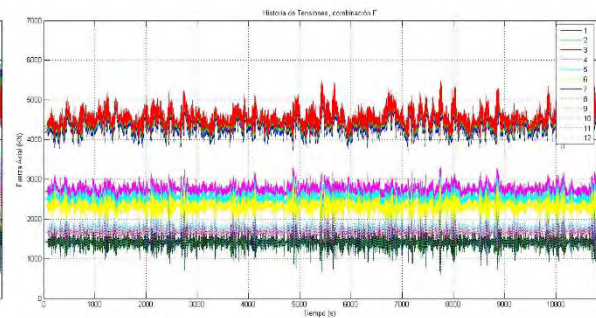
(C)



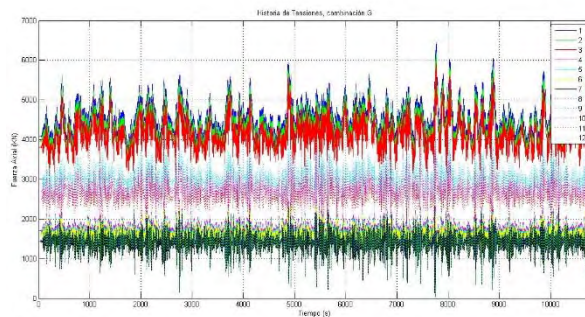
(D)



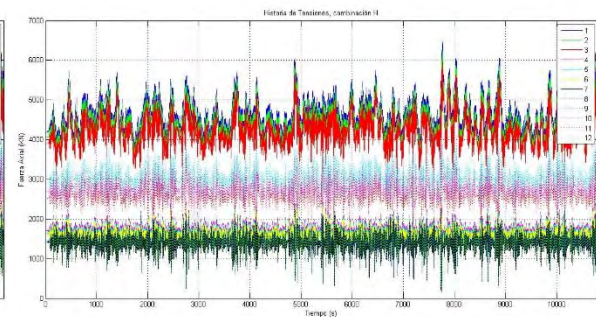
(E)



(F)



(G)



(H)

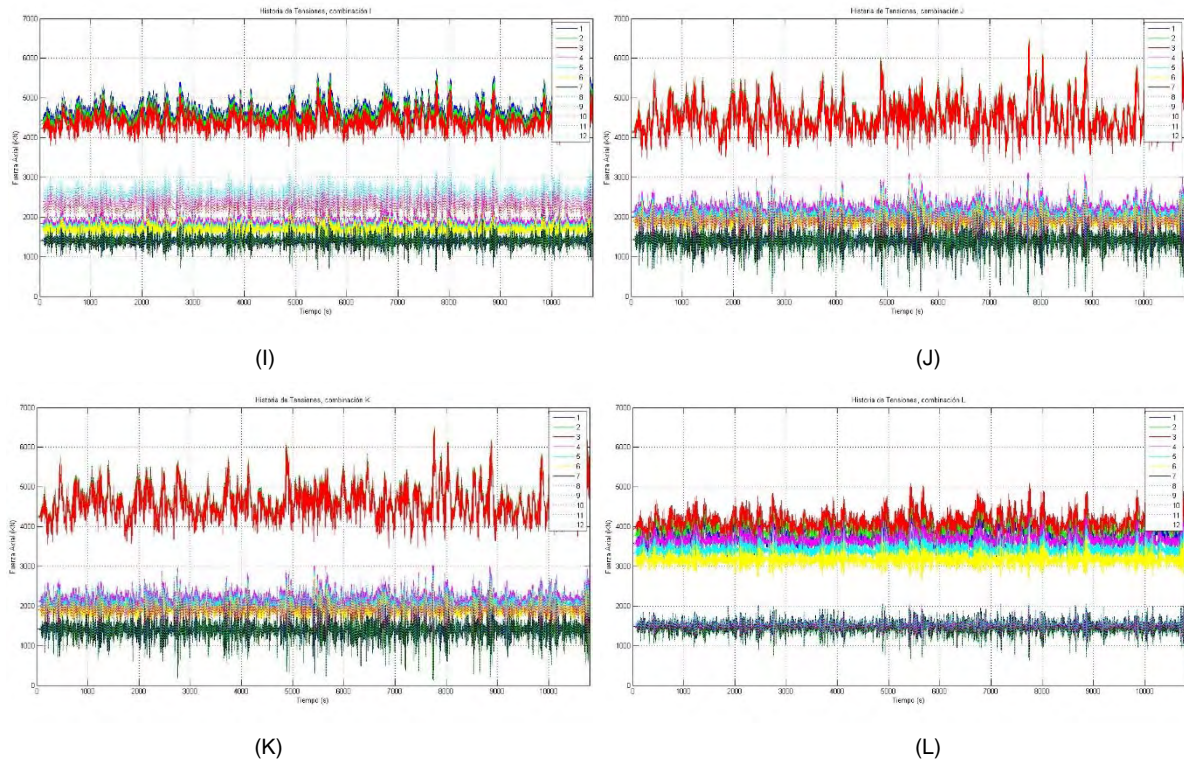
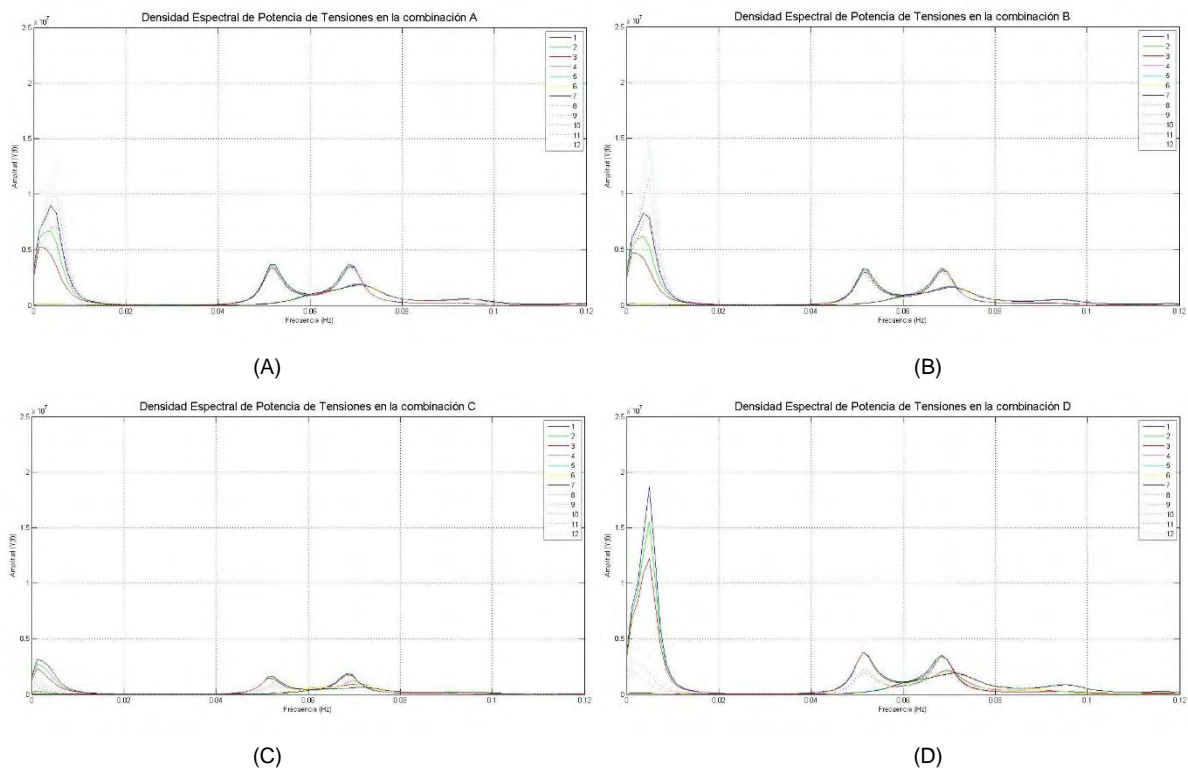


Figura A.16. Historia de tensiones dinámicas, P15NL3AS45CIP0FSP.

## DISEÑO ESPECTRAL DE POTENCIA DE TENSIONES





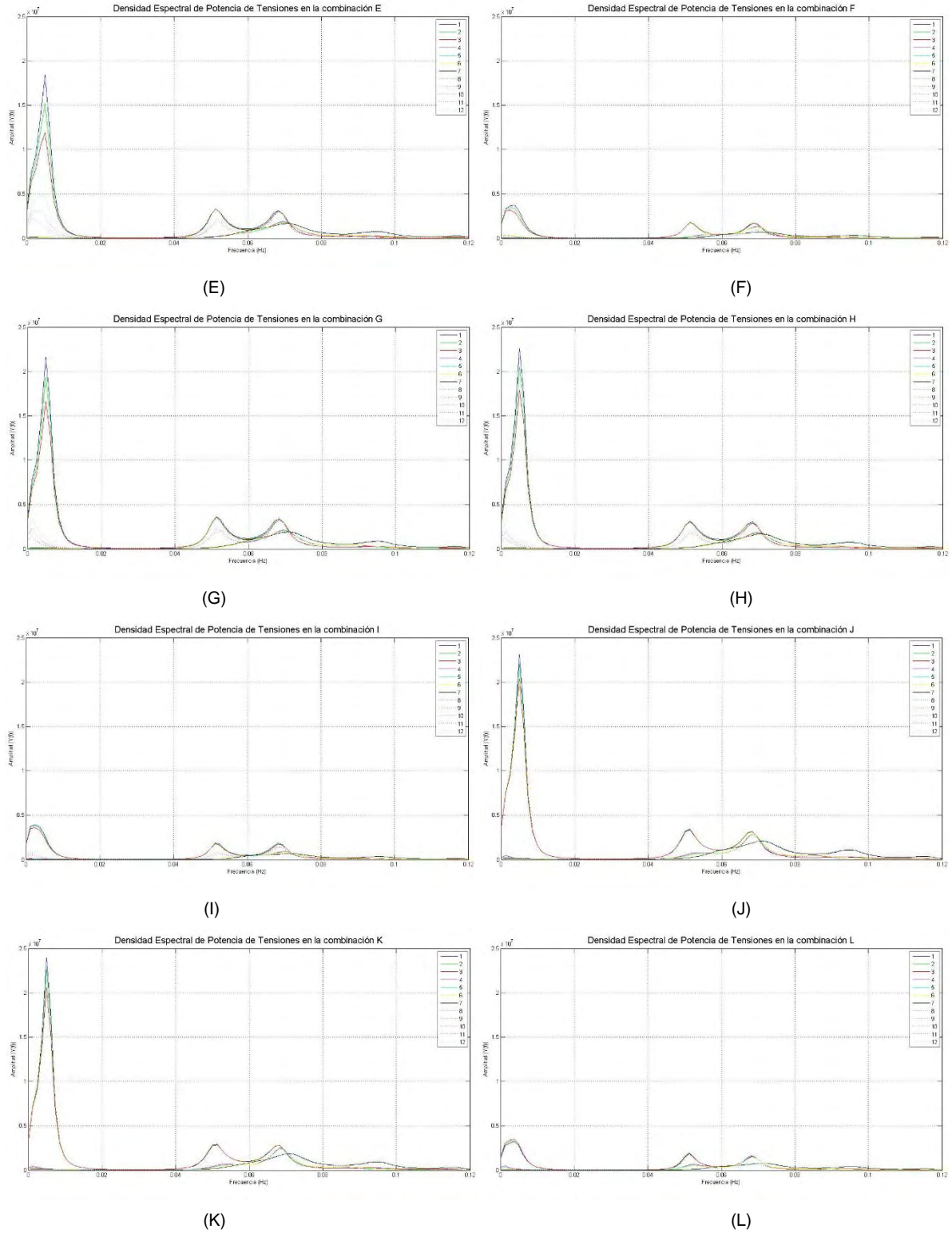


Figura A.17. Diseño espectral de potencia de respuestas de tensiones, P15NL3AS45CIP0FSP.

Tabla A.24. Tensiones y desplazamientos estáticos, P15NL3AS45CIP0FSP.

Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
1	3640.40	3692.60	<b>4402.90</b>	4070.80	4159.30	4159.00	4061.50	4169.00	4392.00	4134.00	4241.20	3564.10
2	3448.60	3491.20	4350.00	3949.20	4029.30	4248.40	3935.70	4040.90	4306.00	4133.00	4235.90	3753.90
3	3247.60	3280.50	4268.90	3806.20	3877.10	4311.20	3789.00	3890.60	4193.00	4106.70	4204.00	3927.80
4	1541.10	1528.30	1941.90	1718.20	1701.90	2663.30	1711.40	1711.10	1845.20	2126.70	2111.20	3514.10
5	1510.80	1498.50	1846.10	1661.70	1645.90	2475.20	1656.80	1654.70	1764.60	2013.50	1996.60	3307.20
6	1485.30	1473.40	1765.50	1613.80	1598.60	2306.50	1610.50	1607.00	1697.40	1916.20	1898.80	3096.10
7	1485.20	1478.40	1409.80	1437.60	1428.60	1428.90	1437.00	1426.20	1410.20	1430.40	1419.90	1490.40
8	1509.80	1503.60	1413.40	1448.80	1440.20	1419.70	1448.60	1437.30	1416.20	1429.40	1419.20	1467.50
9	1539.00	1533.50	1419.40	1462.70	1454.60	1413.10	1463.10	1451.40	1424.80	1430.60	1420.90	1448.40
10	3223.80	3301.60	2072.50	2490.40	2535.50	1663.90	2508.70	2508.10	2208.40	1901.50	1912.80	1501.90
11	3425.80	3512.10	2201.90	2660.90	2716.90	1719.50	2681.20	2687.20	2361.00	1990.90	2007.20	1529.70
12	3619.60	3713.10	2351.10	2842.50	2909.60	1785.20	2864.20	2878.10	2533.10	2094.40	2116.90	1562.70
Fibra sintética poliéster (fibra)												
1	3327.80	3380.30	<b>4103.10</b>	3762.50	3851.40	3853.70	3750.30	3858.30	4091.20	3824.80	3932.60	3248.70
2	3133.90	3176.70	4050.20	3640.00	3720.50	3944.90	3623.00	3728.80	4003.80	3824.40	3927.70	3441.20
3	2930.60	2963.70	3968.80	3495.80	3567.10	4009.10	3474.60	3576.80	3888.90	3798.20	3896.10	3617.60
4	1188.50	1175.20	1602.20	1372.40	1355.70	2339.20	1363.40	1363.10	1501.60	1791.20	1775.50	3204.20
5	1156.60	1143.80	1503.90	1314.20	1298.00	2147.50	1306.60	1304.50	1418.30	1675.40	1658.20	2994.30
6	1129.60	1117.30	1421.20	1264.60	1249.00	1975.30	1258.40	1254.80	1348.40	1575.80	1558.00	2779.90
7	1126.10	1119.10	1041.60	1075.50	1066.20	1064.60	1076.90	1065.50	1042.70	1068.80	1057.90	1133.30
8	1152.10	1145.70	1045.00	1087.20	1078.30	1054.20	1089.40	1077.70	1049.60	1067.40	1056.90	1108.50
9	1182.80	1177.10	1051.10	1101.90	1093.40	1046.50	1105.00	1092.90	1059.30	1068.50	1058.30	1087.70
10	2902.00	2980.40	1734.80	2159.60	2205.30	1313.30	2180.60	2180.10	1874.90	1559.80	1571.40	1141.20
11	3106.20	3193.10	1866.70	2332.20	2388.90	1371.40	2356.00	2362.10	2030.70	1651.40	1668.10	1171.00
12	3302.10	3396.20	2018.30	2516.00	2583.80	1439.60	2541.80	2555.80	2206.20	1757.20	1780.10	1206.10
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
1	3246.70	3299.20	<b>4022.40</b>	3681.60	3770.60	3772.90	3669.50	3777.50	4010.50	3744.00	3851.80	3167.60
2	3052.70	3095.60	3969.50	3559.10	3639.60	3864.10	3542.10	3647.90	3923.10	3743.50	3846.90	3360.20
3	2849.40	2882.50	3888.10	3414.80	3486.20	3928.40	3393.60	3495.90	3808.20	3717.40	3815.30	3536.70
4	1104.50	1091.20	1519.50	1289.10	1272.40	2257.50	1280.00	1279.70	1418.60	1708.80	1693.10	3123.10
5	1072.40	1059.60	1421.00	1230.70	1214.40	2065.60	1223.10	1220.90	1335.10	1592.80	1575.60	2913.00
6	1045.30	1032.90	1338.00	1181.00	1165.30	1893.20	1174.70	1171.10	1264.90	1493.00	1475.20	2698.60
7	1041.80	1034.80	956.78	990.93	981.51	979.94	992.28	980.89	957.90	984.21	973.22	1049.00
8	1067.90	1061.50	960.18	1002.60	993.66	969.41	1004.90	993.10	964.80	982.75	972.16	1024.10
9	1098.80	1093.10	966.25	1017.40	1008.90	961.70	1020.60	1008.40	974.52	983.82	973.63	1003.20
10	2820.70	2899.10	1652.40	2077.70	2123.50	1229.80	2098.80	2098.30	1792.70	1477.10	1488.60	1056.90
11	3025.00	3111.90	1784.50	2250.50	2307.20	1288.10	2274.30	2280.40	1948.80	1568.80	1585.50	1086.90
12	3221.00	3315.20	1936.30	2434.50	2502.20	1356.50	2460.20	2474.30	2124.40	1674.80	1697.70	1122.20
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	33.76	34.78	34.80	32.50	33.59	34.55	32.55	33.56	35.19	31.22	32.24	<b>35.22</b>

Tabla A.25. Tensiones y desplazamientos dinámicos, P15NL3AS45CIP0FSP.

Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
1	5593.80	5547.10	5585.10	6469.40	6452.80	5382.60	6441.90	6463.40	5712.30	6487.90	<b>6512.90</b>	4687.30
2	5228.70	5172.30	5483.50	6251.00	6227.40	5443.80	6219.90	6246.70	5584.60	6488.10	6505.70	4900.70
3	4899.00	4835.70	5358.20	5989.40	5959.00	5477.10	5955.70	5986.70	5421.40	6441.10	6450.90	5091.20
4	2508.00	2441.70	2473.60	2665.30	2592.40	3305.30	2605.60	2544.20	2418.30	3119.50	3022.10	4376.80
5	2471.30	2406.90	2374.20	2605.60	2531.90	3068.20	2543.90	2477.40	2328.80	2960.60	2881.90	4098.80
6	2438.40	2375.80	2291.50	2552.70	2481.60	2880.30	2494.50	2430.00	2252.20	2854.70	2779.90	3819.00
7	2421.40	2361.10	1950.80	2417.60	2353.20	1994.00	2422.40	2358.60	1950.20	2475.00	2408.50	2049.30
8	2447.50	2385.70	1943.10	2433.50	2372.40	1989.10	2444.40	2382.30	1958.70	2482.80	2415.30	2032.90
9	2477.00	2413.50	1942.40	2457.70	2395.20	1987.70	2473.50	2409.80	1972.40	2493.90	2425.60	2021.00
10	4844.60	4838.90	2853.10	3642.90	3624.30	2267.80	3679.90	3595.20	2886.40	2751.80	2707.50	2011.20
11	5165.00	5202.10	3021.60	3898.90	3891.90	2337.50	3961.20	3882.40	3077.60	2846.70	2806.40	2042.80
12	5542.10	5576.70	3227.00	4179.80	4186.40	2420.00	4275.40	4201.80	3310.30	2996.60	2963.90	2081.90
Fibra sintética poliéster (fibra)												
1	5312.60	5263.40	5315.00	6188.50	6170.90	5105.50	6158.30	6178.00	5444.70	6197.00	<b>6221.50</b>	4399.90
2	4949.60	4893.10	5210.60	5968.30	5943.70	5170.10	5933.90	5958.30	5317.20	6197.60	6214.60	4616.30
3	4616.20	4555.90	5085.40	5704.40	5672.80	5207.80	5666.40	5695.00	5154.00	6150.70	6159.90	4810.30
4	1852.40	1809.50	2086.40	2114.90	2058.40	2992.20	2037.10	1995.50	1998.60	2745.80	2653.10	4089.00
5	1797.50	1755.00	1967.30	2025.70	1972.40	2751.80	1951.60	1910.00	1888.30	2527.60	2466.30	3805.40
6	1753.00	1711.90	1868.70	1948.40	1896.70	2555.90	1878.40	1836.20	1793.20	2384.00	2322.40	3520.10
7	1706.20	1670.30	1364.40	1670.20	1632.00	1416.30	1688.40	1648.60	1373.70	1703.10	1662.80	1515.70
8	1741.60	1705.00	1369.40	1686.10	1649.50	1403.30	1711.90	1672.40	1384.10	1702.70	1663.10	1485.10
9	1783.50	1745.70	1378.10	1710.20	1673.50	1393.10	1742.80	1702.30	1397.90	1706.80	1667.00	1460.40
10	4528.90	4545.60	2483.60	3272.00	3275.00	1797.60	3358.40	3279.20	2557.10	2267.10	2241.10	1487.80
11	4874.80	4909.70	2681.30	3565.20	3573.70	1886.90	3662.80	3585.30	2758.00	2389.80	2365.90	1529.70
12	5255.30	5287.60	2907.20	3878.20	3893.80	1993.10	3985.30	3910.30	3002.30	2567.80	2552.60	1582.50
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
1	5248.70	5197.90	5253.80	6122.80	6103.70	5043.40	6093.10	6111.60	5384.30	6125.20	<b>6148.30</b>	4335.50
2	4893.50	4834.00	5144.70	5901.60	5875.50	5108.40	5867.70	5890.80	5257.80	6125.70	6141.30	4552.00
3	4565.00	4505.10	5023.30	5636.70	5603.50	5146.40	5599.10	5627.40	5096.00	6078.60	6086.40	4747.80
4	1803.90	1758.30	2034.70	2070.60	2011.40	2937.40	1990.30	1946.60	1944.00	2698.60	2604.30	4031.50
5	1746.40	1702.90	1915.50	1981.30	1925.30	2694.50	1905.00	1861.40	1831.00	2483.60	2420.10	3748.40
6	1699.10	1655.50	1813.80	1901.70	1848.60	2499.10	1829.20	1786.30	1736.40	2344.40	2280.10	3462.80
7	1654.10	1615.90	1295.60	1615.50	1576.60	1350.90	1634.90	1594.00	1308.20	1652.30	1609.30	1452.40
8	1690.20	1651.20	1301.70	1634.80	1595.70	1336.40	1660.60	1618.60	1319.50	1651.90	1609.30	1420.80
9	1736.20	1696.60	1311.90	1659.10	1619.70	1326.90	1691.20	1647.90	1334.20	1655.90	1613.10	1395.40
10	4474.10	4491.30	2425.40	3224.30	3224.10	1736.10	3306.30	3225.90	2501.20	2218.80	2190.80	1422.10
11	4811.40	4845.00	2621.80	3513.90	3521.70	1825.90	3609.90	3531.10	2703.60	2340.00	2314.80	1464.10
12	5193.20	5224.20	2846.60	3822.20	3837.40	1932.40	3929.10	3853.40	2945.40	2519.70	2503.10	1518.60
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	56.98	<b>57.04</b>	45.46	55.22	55.40	44.85	55.24	55.32	47.81	52.62	52.86	45.76

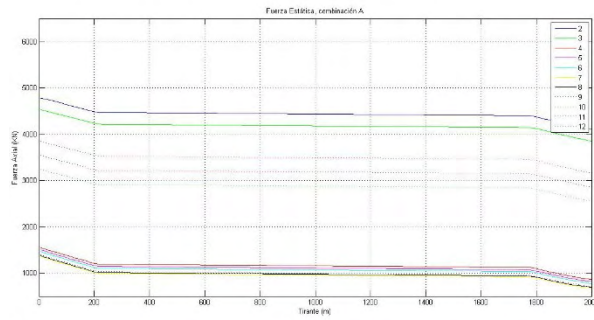
Tabla A.26. Relaciones dinámicos-estáticos, P15NL3AS45CIP0FSP.

Sección	Línea	Combinación											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena FC	1	1.54	1.50	1.27	1.59	1.55	1.29	1.59	1.55	1.30	<b>1.57</b>	1.54	1.32
	2	1.52	1.48	1.26	1.58	1.55	1.28	1.58	1.55	1.30	1.57	1.54	1.31
	3	1.51	1.47	1.26	1.57	1.54	1.27	1.57	1.54	1.29	1.57	1.53	1.30
	4	1.63	1.60	1.27	1.55	1.52	1.24	1.52	1.49	1.31	1.47	1.43	1.25
	5	1.64	1.61	1.29	1.57	1.54	1.24	1.54	1.50	1.32	1.47	1.44	1.24
	6	1.64	1.61	1.30	1.58	1.55	1.25	1.55	1.51	1.33	1.49	1.46	1.23
	7	1.63	1.60	1.38	1.68	1.65	1.40	1.69	1.65	1.38	1.73	1.70	1.38
	8	1.62	1.59	1.37	1.68	1.65	1.40	1.69	1.66	1.38	1.74	1.70	1.39
	9	1.61	1.57	1.37	1.68	1.65	1.41	1.69	1.66	1.38	1.74	1.71	1.40
	10	1.50	1.47	1.38	1.46	1.43	1.36	1.47	1.43	1.31	1.45	1.42	1.34
	11	1.51	1.48	1.37	1.47	1.43	1.36	1.48	1.44	1.30	1.43	1.40	1.34
	12	1.53	1.50	1.37	1.47	1.44	1.36	1.49	1.46	1.31	1.43	1.40	1.33
Fibra	1	1.60	1.56	1.30	1.64	1.60	1.32	1.64	1.60	1.33	<b>1.62</b>	1.58	1.35
	2	1.58	1.54	1.29	1.64	1.60	1.31	1.64	1.60	1.33	1.62	1.58	1.34
	3	1.58	1.54	1.28	1.63	1.59	1.30	1.63	1.59	1.33	1.62	1.58	1.33
	4	1.56	1.54	1.30	1.54	1.52	1.28	1.49	1.46	1.33	1.53	1.49	1.28
	5	1.55	1.53	1.31	1.54	1.52	1.28	1.49	1.46	1.33	1.51	1.49	1.27
	6	1.55	1.53	1.31	1.54	1.52	1.29	1.49	1.46	1.33	1.51	1.49	1.27
	7	1.52	1.49	1.31	1.55	1.53	1.33	1.57	1.55	1.32	1.59	1.57	1.34
	8	1.51	1.49	1.31	1.55	1.53	1.33	1.57	1.55	1.32	1.60	1.57	1.34
	9	1.51	1.48	1.31	1.55	1.53	1.33	1.58	1.56	1.32	1.60	1.58	1.34
	10	1.56	1.53	1.43	1.52	1.49	1.37	1.54	1.50	1.36	1.45	1.43	1.30
	11	1.57	1.54	1.44	1.53	1.50	1.38	1.55	1.52	1.36	1.45	1.42	1.31
	12	1.59	1.56	1.44	1.54	1.51	1.38	1.57	1.53	1.36	1.46	1.43	1.31
Cadena SC	1	1.62	1.58	1.31	1.66	1.62	1.34	1.66	1.62	1.34	<b>1.64</b>	1.60	1.37
	2	1.60	1.56	1.30	1.66	1.61	1.32	1.66	1.61	1.34	1.64	1.60	1.35
	3	1.60	1.56	1.29	1.65	1.61	1.31	1.65	1.61	1.34	1.64	1.60	1.34
	4	1.63	1.61	1.34	1.61	1.58	1.30	1.55	1.52	1.37	1.58	1.54	1.29
	5	1.63	1.61	1.35	1.61	1.59	1.30	1.56	1.52	1.37	1.56	1.54	1.29
	6	1.63	1.60	1.36	1.61	1.59	1.32	1.56	1.53	1.37	1.57	1.55	1.28
	7	1.59	1.56	1.35	1.63	1.61	1.38	1.65	1.63	1.37	1.68	1.65	1.38
	8	1.58	1.56	1.36	1.63	1.61	1.38	1.65	1.63	1.37	1.68	1.66	1.39
	9	1.58	1.55	1.36	1.63	1.61	1.38	1.66	1.63	1.37	1.68	1.66	1.39
	10	1.59	1.55	1.47	1.55	1.52	1.41	1.58	1.54	1.40	1.50	1.47	1.35
	11	1.59	1.56	1.47	1.56	1.53	1.42	1.59	1.55	1.39	1.49	1.46	1.35
	12	1.61	1.58	1.47	1.57	1.53	1.42	1.60	1.56	1.39	1.50	1.47	1.35
Desplazamiento lateral (m)													
SEMI		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		1.69	1.64	1.31	1.70	1.65	1.30	1.70	1.65	1.36	<b>1.69</b>	1.64	1.30

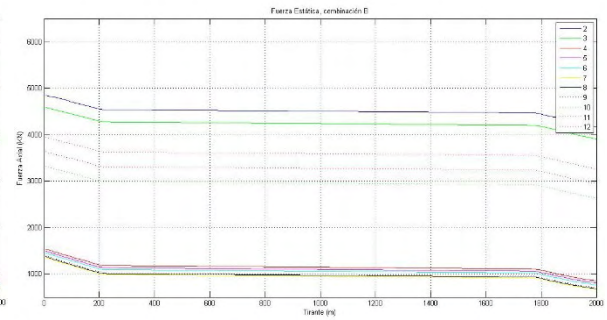


P15NL3AS45CD1P0FSP

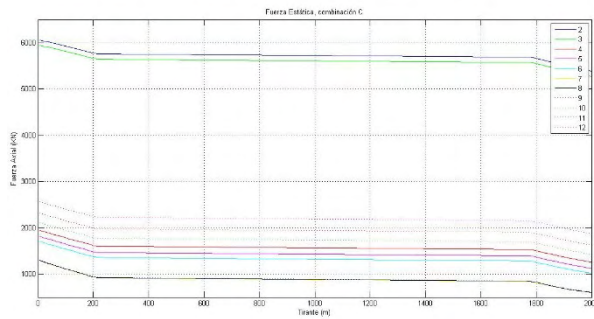
## TENSIONES ESTÁTICAS



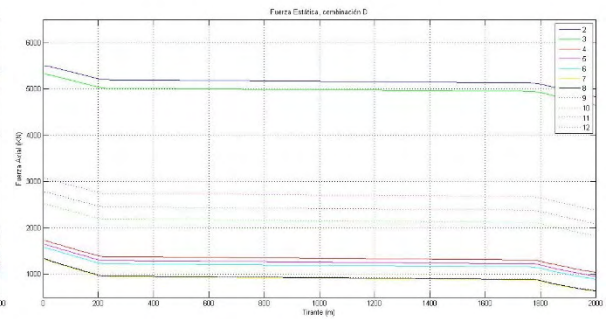
(A)



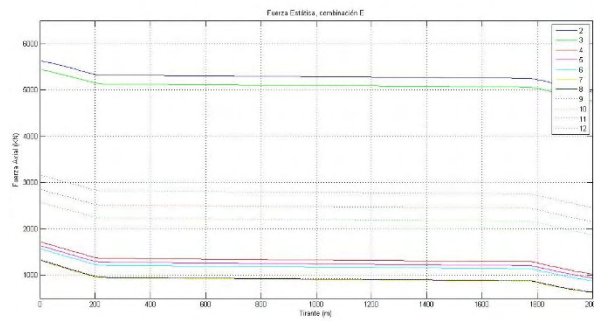
(B)



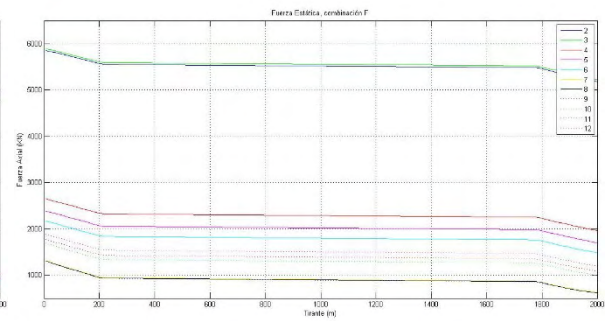
(C)



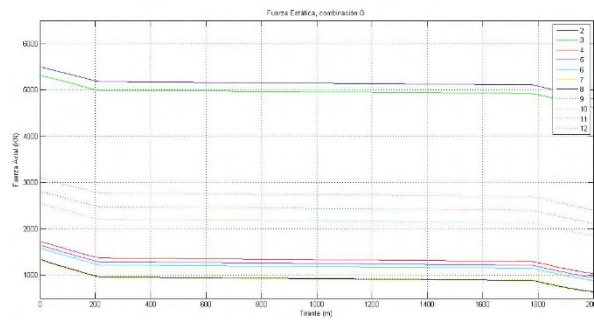
(D)



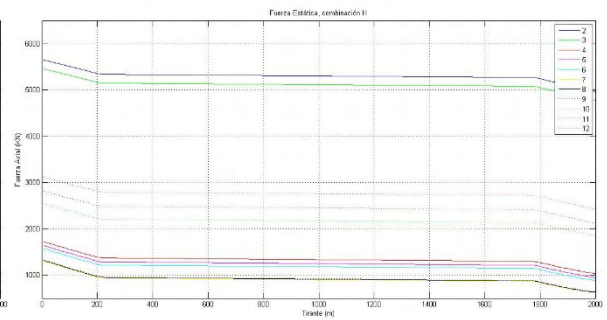
(E)



(F)



(G)



(H)

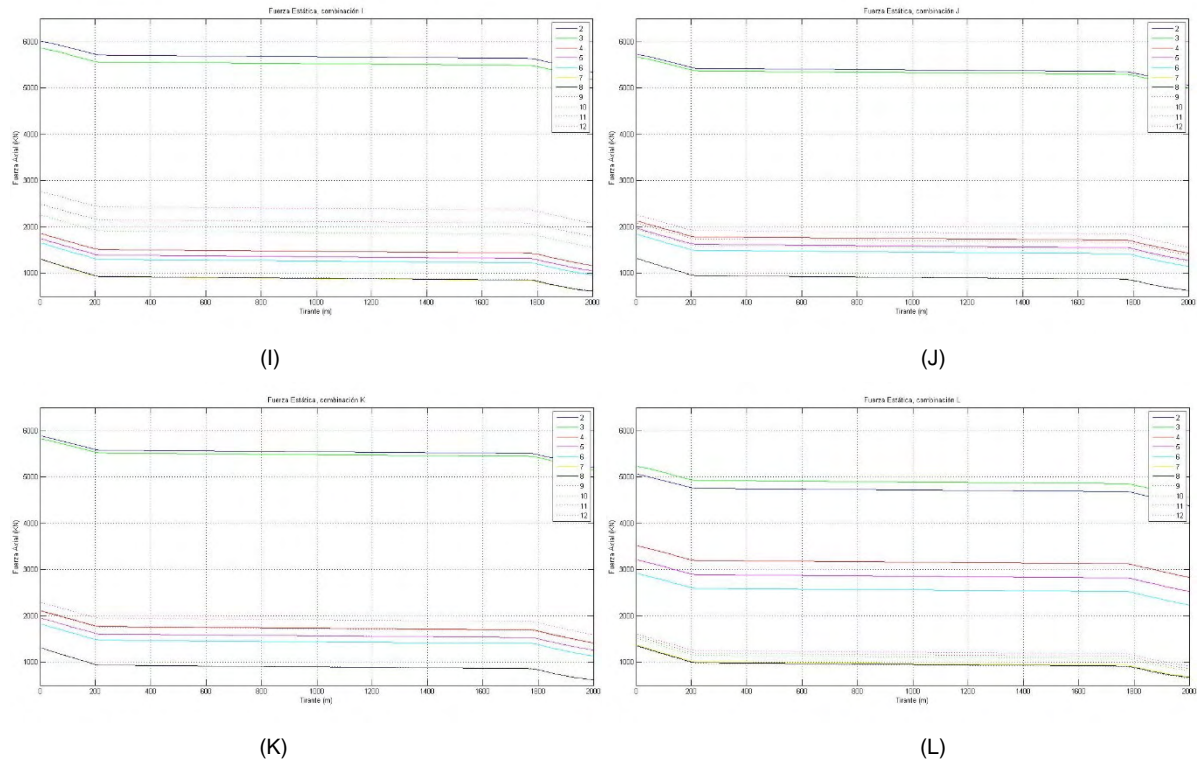
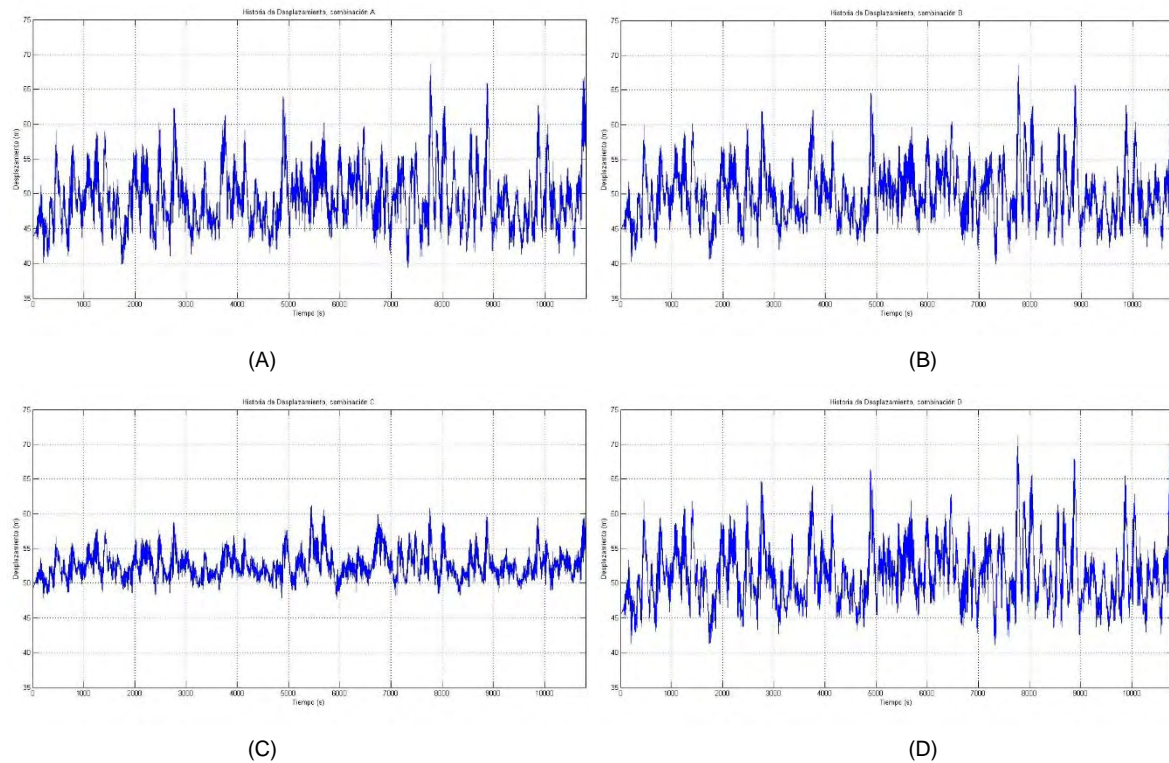


Figura A.18. Fuerzas axiales estáticas, P15NL3AS45CD1P0FSP.

## HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS DINÁMICOS





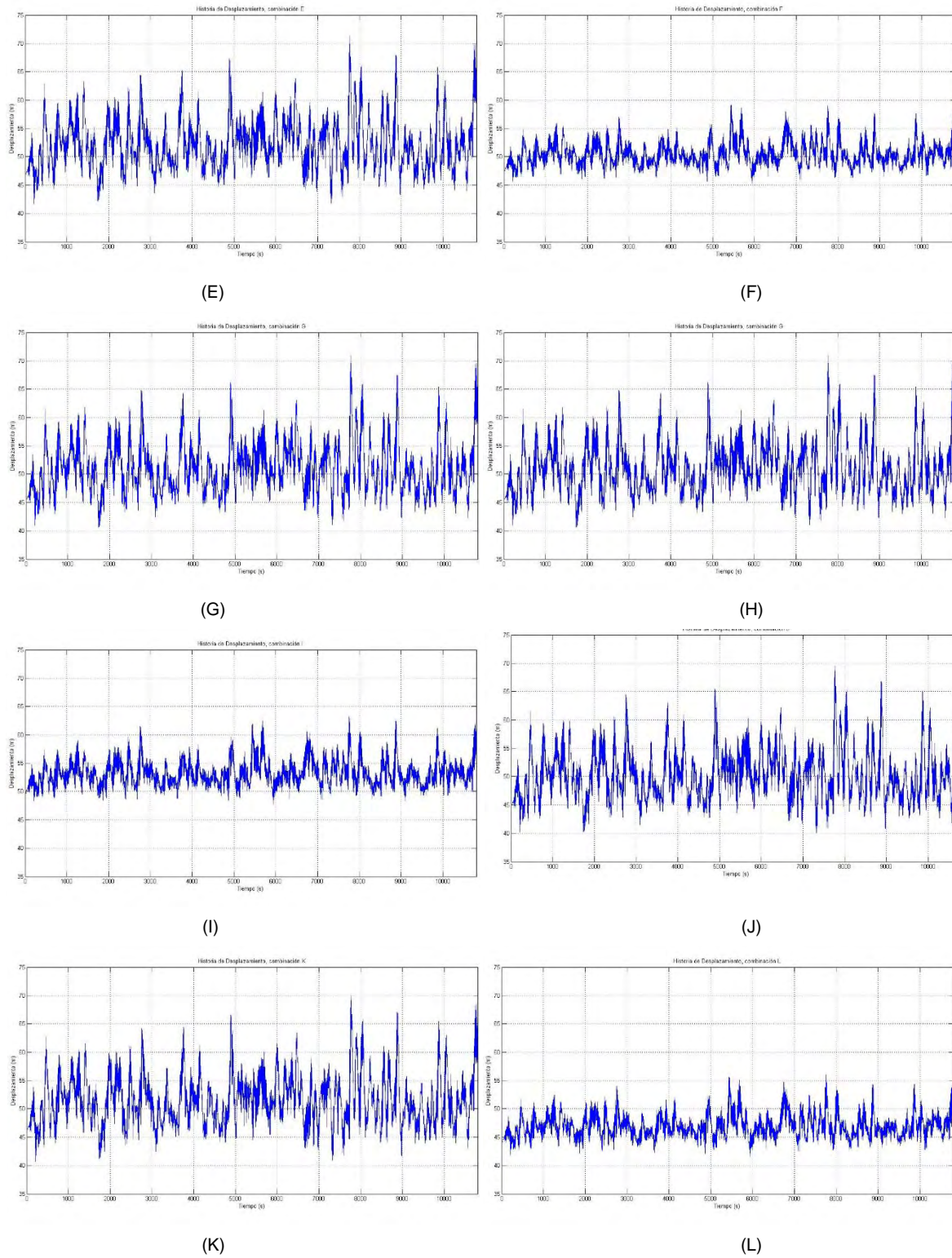
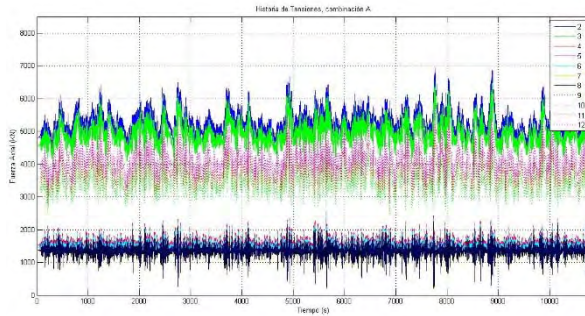
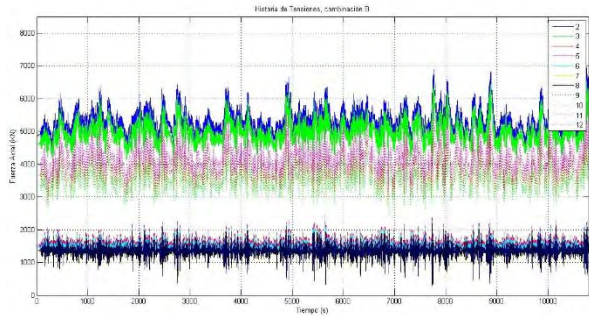


Figura A.19. Historia de Desplazamientos, P15NL3AS45CD1P0FSP.

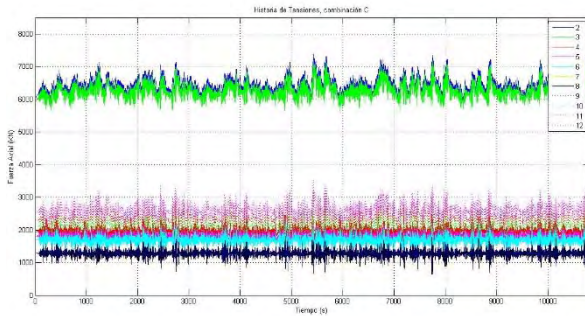
# HISTORIA DE TENSIONES



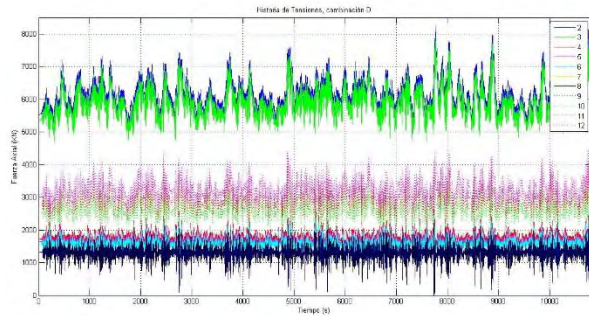
(A)



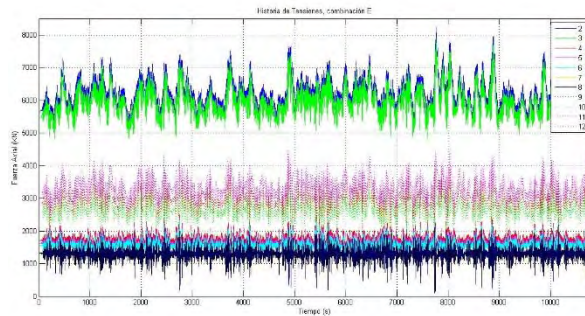
(B)



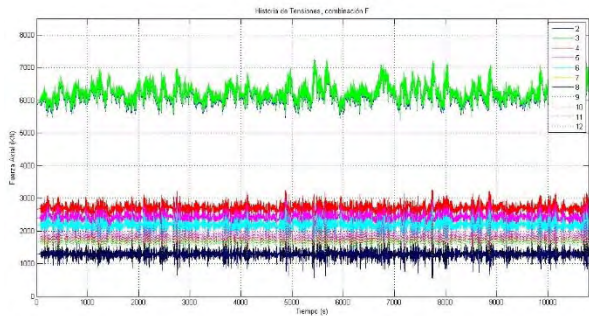
(C)



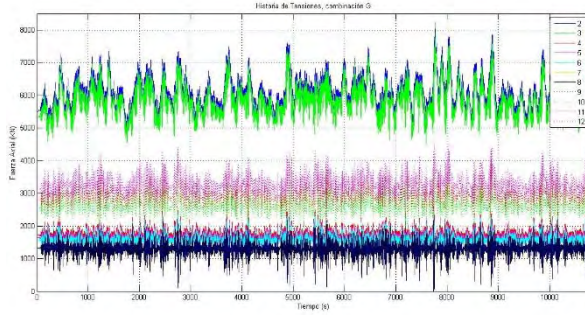
(D)



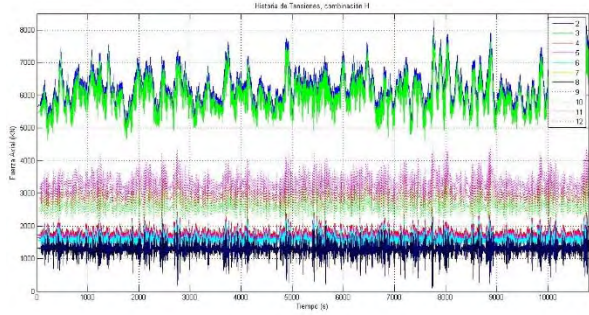
(E)



(F)



(G)



(H)



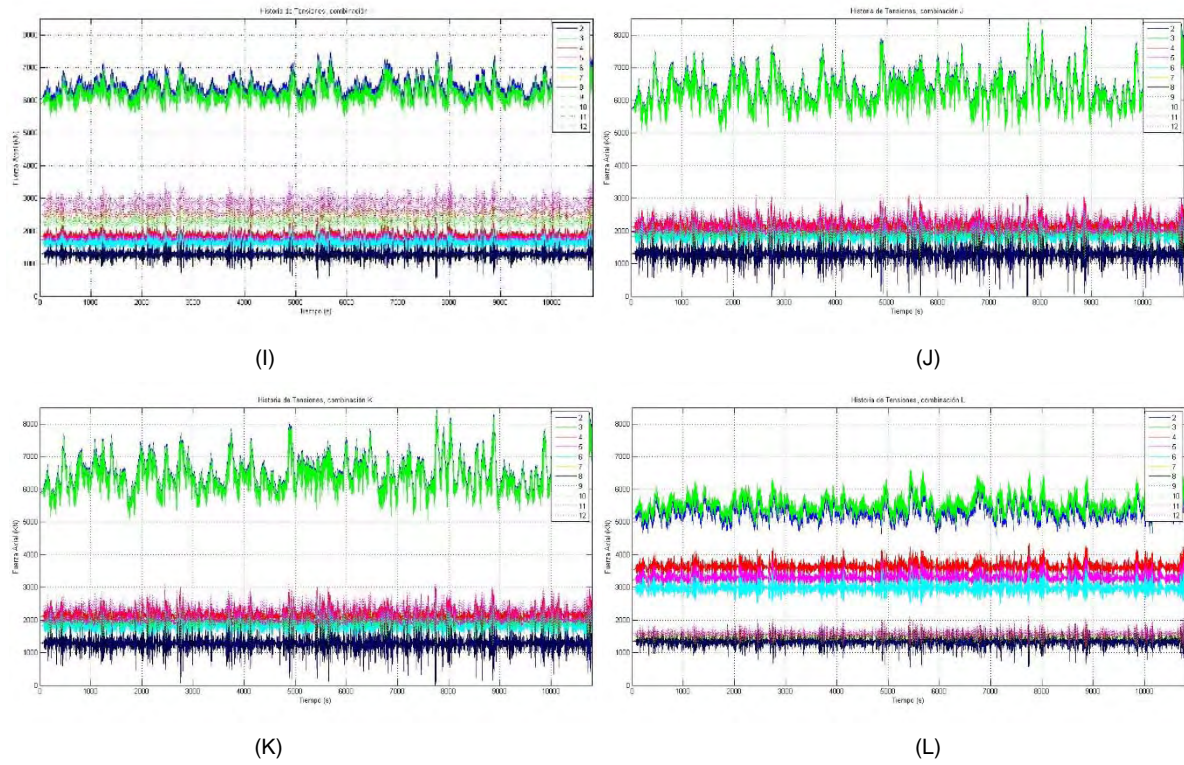
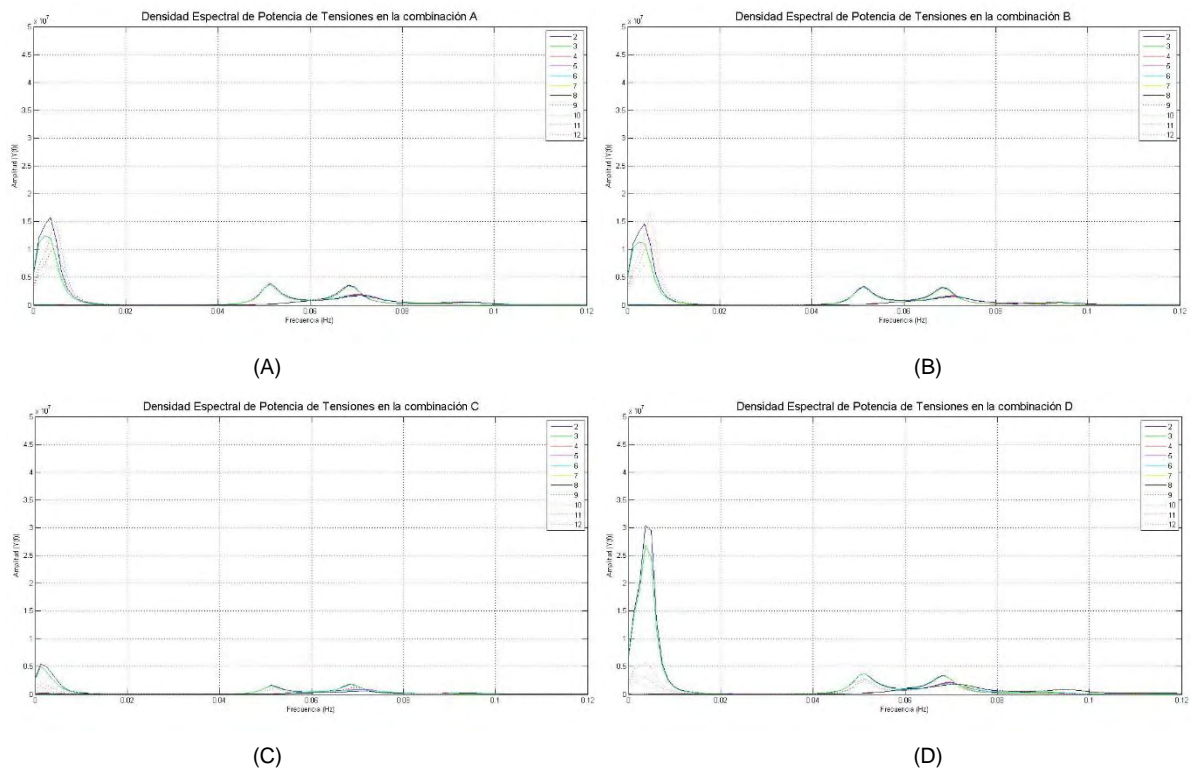


Figura A.20. Historia de tensiones dinámicas, P15NL3AS45CD1P0FSP.

## DISEÑO ESPECTRAL DE POTENCIA DE TENSIONES



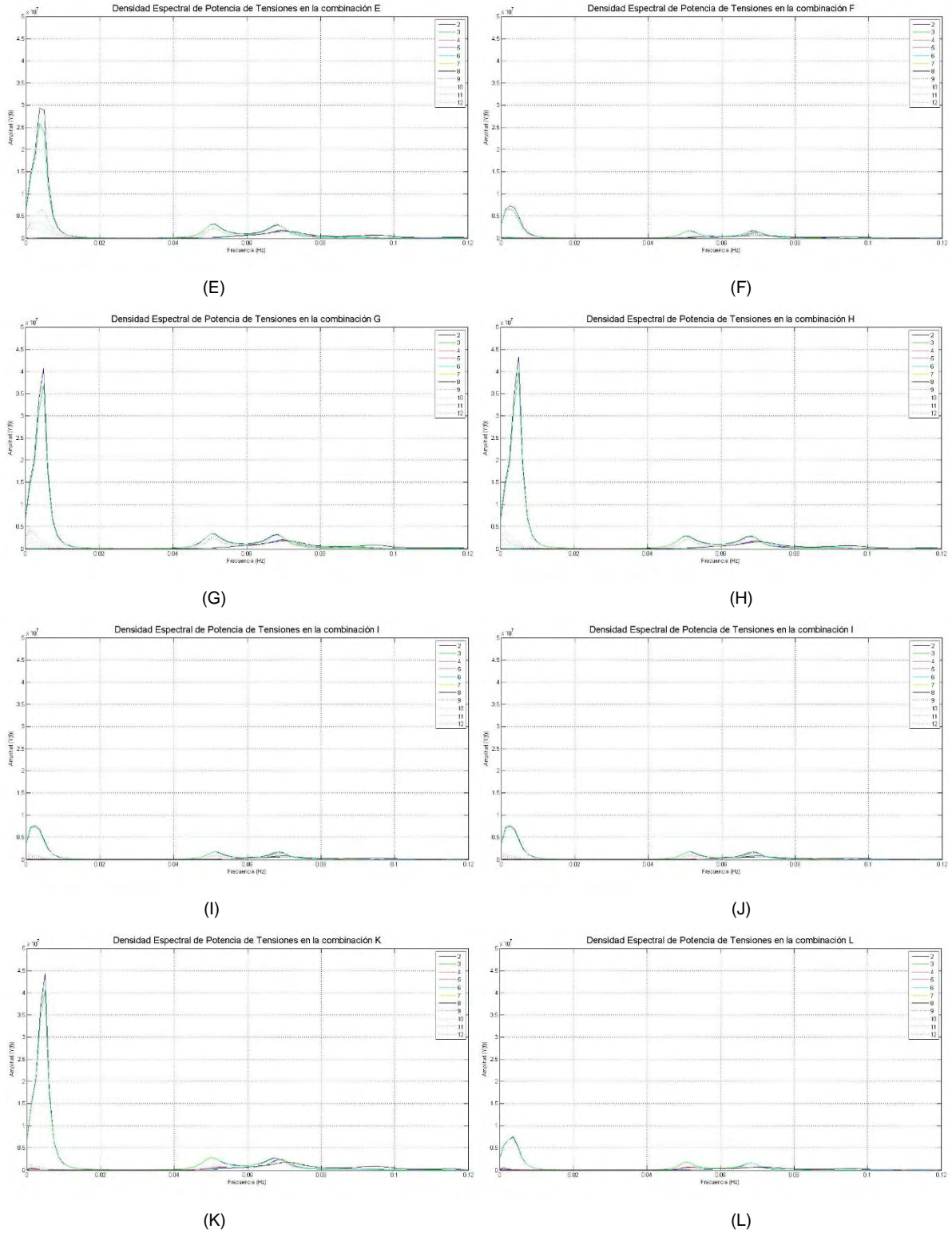


Figura A.21. Diseño espectral de potencia de tensiones, P15NL3AS45CD1P0FSP.



Tabla A.27. Tensiones y desplazamientos estáticos, P15NL3AS45CD1P0FSP.

Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
2	4781.00	4848.30	<b>6050.00</b>	5503.50	5625.40	5849.40	5487.90	5644.90	6004.70	5728.20	5882.00	5061.00
3	4527.10	4584.00	5935.80	5322.90	5435.40	5887.90	5303.40	5457.30	5857.20	5671.80	5819.10	5231.60
4	1548.00	1535.30	1945.00	1726.10	1710.60	2647.10	1719.70	1720.00	1852.10	2120.20	2105.70	3507.10
5	1502.30	1490.40	1811.30	1644.30	1629.60	2385.20	1640.10	1638.00	1738.30	1961.60	1945.60	3204.30
6	1464.30	1453.10	1706.10	1578.00	1564.10	2168.80	1575.60	1571.80	1648.60	1834.90	1818.50	2913.40
7	1360.80	1355.10	1293.70	1319.80	1311.50	1312.60	1319.10	1309.00	1293.80	1313.10	1302.80	1368.60
8	1377.00	1371.70	1296.80	1327.30	1319.70	1306.40	1326.70	1317.00	1298.40	1312.90	1302.80	1353.60
9	1396.70	1391.80	1302.40	1337.40	1330.00	1302.80	1337.00	1327.00	1305.80	1315.20	1305.40	1341.70
10	3237.00	3314.80	2110.80	2521.20	2566.60	1687.00	2537.40	2538.10	2245.60	1935.20	1948.10	1510.70
11	3541.00	3630.30	2312.60	2782.10	2842.80	1774.90	2800.80	2810.90	2480.50	2077.90	2098.80	1554.10
12	3845.30	3944.50	2559.40	3072.90	3149.50	1884.40	3093.40	3115.20	2760.00	2253.30	2285.10	1606.40
Fibra sintética poliéster (FIBRA)												
2	4473.80	4541.30	<b>5757.80</b>	5201.50	5323.70	5552.90	5182.00	5339.60	5709.90	5426.40	5580.70	4754.90
3	4218.00	4275.20	5643.30	5019.90	5132.80	5592.70	4996.00	5150.40	5560.60	5370.10	5518.00	4927.70
4	1195.60	1182.50	1605.40	1380.50	1364.60	2322.90	1372.00	1372.30	1508.80	1784.70	1769.90	3197.30
5	1147.80	1135.50	1468.30	1296.30	1281.10	2056.40	1289.50	1287.40	1391.30	1622.60	1606.20	2890.60
6	1107.80	1096.20	1360.10	1227.60	1213.30	1835.40	1222.40	1218.50	1298.30	1492.60	1475.90	2595.50
7	996.93	990.99	921.08	952.89	944.18	943.78	953.82	943.25	921.82	946.63	935.79	1006.70
8	1014.30	1008.70	924.01	960.83	952.89	936.45	962.31	952.10	927.25	946.07	935.53	990.06
9	1035.30	1030.20	929.76	971.52	963.87	931.99	973.59	963.10	935.60	948.25	937.98	976.68
10	2915.30	2993.80	1773.90	2190.80	2236.80	1337.10	2209.90	2210.50	1912.80	1594.30	1607.50	1150.40
11	3222.30	3312.20	1979.20	2454.70	2516.10	1428.30	2477.00	2487.20	2152.00	1740.10	1761.40	1196.20
12	3529.20	3629.00	2229.30	2748.50	2825.70	1541.20	2773.20	2795.20	2435.90	1918.80	1951.10	1251.20
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
2	4393.20	4460.70	<b>5677.70</b>	5121.10	5243.40	5472.70	5101.60	5259.20	5629.70	5346.10	5500.40	4674.30
3	4137.30	4194.50	5563.10	4939.50	5052.40	5512.50	4915.50	5070.00	5480.30	5289.80	5437.70	4847.20
4	1111.70	1098.50	1522.70	1297.30	1281.30	2241.20	1288.60	1288.90	1425.80	1702.30	1687.50	3116.20
5	1063.60	1051.20	1385.30	1212.70	1197.50	1974.40	1205.90	1203.80	1308.10	1539.90	1523.50	2809.30
6	1023.40	1011.70	1276.70	1143.80	1129.40	1753.10	1138.50	1134.60	1214.70	1409.70	1392.90	2514.00
7	911.86	905.88	835.38	867.48	858.70	858.29	868.43	857.78	836.13	861.17	850.25	921.68
8	929.31	923.71	838.33	875.48	867.47	850.89	876.98	866.69	841.60	860.61	849.99	904.96
9	950.49	945.32	844.12	886.25	878.54	846.39	888.35	877.78	850.01	862.80	852.46	891.48
10	2834.00	2912.50	1691.50	2108.90	2155.00	1253.70	2128.10	2128.70	1830.70	1511.60	1524.80	1066.20
11	3141.10	3231.10	1897.20	2373.10	2434.50	1345.20	2395.50	2405.70	2070.10	1657.70	1679.00	1112.30
12	3448.30	3548.00	2147.50	2667.10	2744.40	1458.40	2691.80	2713.90	2354.30	1836.60	1868.90	1167.40
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	43.88	44.94	49.32	45.56	46.87	47.38	45.50	46.87	<b>49.57</b>	44.96	46.36	44.08

Tabla A.28. Tensiones y desplazamientos dinámicos, P15NL3AS45CD1P0FSP.

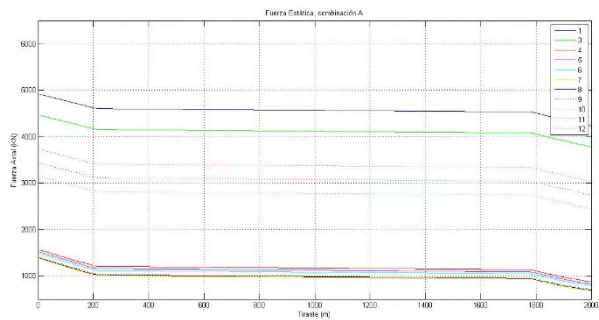
Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
2	6988.80	6936.70	7370.00	8246.30	8240.50	7263.70	8218.20	8276.40	7470.00	8527.50	<b>8578.80</b>	6417.00
3	6596.80	6542.40	7190.90	7951.10	7939.90	7257.50	7924.40	7986.70	7288.60	8445.80	8488.80	6591.20
4	2551.30	2483.00	2473.00	2704.70	2629.80	3253.80	2629.50	2563.60	2427.80	3100.70	3019.40	4340.50
5	2491.10	2424.70	2333.50	2614.20	2535.70	2962.80	2549.40	2477.30	2299.00	2916.00	2834.40	3953.30
6	2447.40	2376.00	2222.90	2537.60	2462.20	2724.20	2481.70	2411.20	2193.40	2776.20	2699.30	3583.50
7	2329.90	2259.20	1794.50	2317.10	2243.30	1860.70	2321.30	2246.50	1815.00	2375.30	2300.00	1921.80
8	2347.60	2275.90	1799.90	2335.40	2258.00	1856.10	2342.20	2264.30	1821.20	2387.50	2310.10	1922.90
9	2366.70	2294.50	1809.40	2351.80	2275.10	1863.10	2365.40	2285.80	1839.50	2407.10	2323.40	1913.10
10	4837.90	4834.60	2931.50	3640.60	3628.10	2320.00	3680.60	3598.80	2913.50	2807.80	2763.10	2026.30
11	5300.20	5336.80	3194.10	4007.20	4024.00	2428.70	4073.80	4003.10	3219.60	2957.90	2918.60	2075.50
12	5819.60	5854.20	3525.50	4440.80	4467.40	2567.80	4523.10	4457.30	3596.80	3147.20	3136.30	2138.30
Fibra sintética poliéster (fibra)												
2	6729.90	6676.80	7107.40	7968.90	7962.40	6999.70	7937.10	7993.90	7206.60	8243.30	<b>8293.40</b>	6142.50
3	6333.70	6277.20	6927.50	7672.80	7659.00	6995.20	7641.60	7703.60	7018.80	8162.00	8203.70	6318.40
4	1882.30	1836.70	2086.50	2150.30	2092.00	2943.70	2052.60	2010.50	2011.30	2695.00	2628.60	4051.10
5	1803.20	1759.70	1924.80	2020.30	1966.00	2644.10	1933.80	1893.10	1856.40	2468.20	2400.20	3657.30
6	1733.60	1691.30	1789.60	1911.80	1858.80	2388.50	1838.80	1796.70	1728.80	2279.50	2214.30	3281.00
7	1535.00	1498.00	1211.70	1502.40	1461.80	1262.60	1516.20	1474.90	1218.60	1529.90	1487.40	1358.00
8	1561.80	1523.80	1213.70	1515.30	1476.20	1253.30	1533.90	1494.00	1226.30	1531.40	1489.00	1336.90
9	1589.30	1550.50	1218.90	1533.20	1494.40	1251.40	1557.20	1515.70	1240.00	1538.30	1497.60	1321.00
10	4528.30	4547.50	2562.60	3281.00	3302.60	1852.00	3359.50	3284.40	2588.60	2327.80	2301.90	1505.20
11	5008.60	5044.70	2863.00	3686.80	3720.40	1991.80	3780.90	3708.60	2910.70	2515.50	2493.30	1568.30
12	5532.30	5566.50	3218.90	4155.90	4183.60	2163.50	4238.50	4171.50	3298.90	2766.30	2777.40	1651.90
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
2	6690.20	6634.90	7047.30	7907.20	7898.80	6939.80	7876.20	7933.10	7148.90	8178.00	<b>8227.00</b>	6079.90
3	6293.90	6234.80	6867.10	7610.00	7596.50	6935.00	7581.20	7642.00	6957.20	8096.50	8137.10	6256.70
4	1833.40	1786.20	2036.50	2106.90	2046.80	2892.10	2010.80	1965.80	1957.30	2654.80	2584.10	3993.10
5	1753.40	1707.10	1870.60	1976.30	1918.90	2586.60	1891.00	1847.60	1799.10	2424.10	2352.20	3598.80
6	1682.80	1638.80	1734.80	1863.00	1809.30	2329.80	1791.80	1746.80	1669.70	2236.00	2170.60	3221.40
7	1474.10	1435.20	1135.50	1437.30	1395.80	1187.20	1450.40	1408.20	1144.60	1466.80	1424.40	1289.40
8	1499.70	1458.60	1137.10	1448.30	1407.70	1183.40	1467.50	1424.40	1156.40	1469.90	1427.40	1264.00
9	1531.80	1490.80	1144.30	1466.90	1425.30	1177.00	1493.50	1449.80	1169.30	1476.70	1435.50	1249.30
10	4481.10	4498.80	2506.70	3232.10	3256.00	1791.20	3309.90	3234.00	2532.50	2282.90	2254.80	1438.10
11	4950.30	4984.70	2805.30	3637.60	3674.00	1931.20	3732.20	3659.60	2855.50	2469.40	2446.80	1503.40
12	5475.00	5507.30	3159.90	4110.10	4135.70	2104.20	4187.00	4120.60	3244.90	2718.90	2727.80	1588.50
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	68.64	68.64	61.19	71.12	<b>71.37</b>	59.12	70.97	71.32	63.21	69.46	69.98	55.94

Tabla A.29. Relaciones dinámicos-estáticos, P15NL3AS45CD1P0FSP.

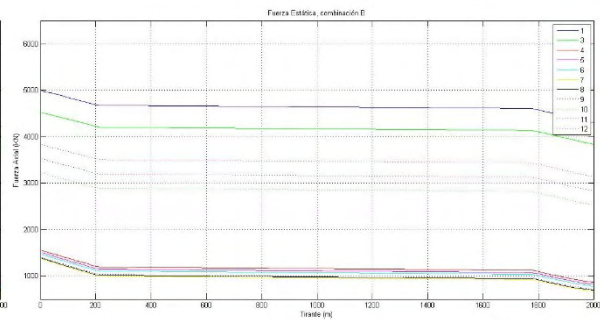
Sección	Línea	Combinación											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
CADENA FC	2	1.46	1.43	1.22	1.50	1.46	1.24	1.50	1.47	1.24	<b>1.49</b>	1.46	1.27
	3	1.46	1.43	1.21	1.49	1.46	1.23	1.49	1.46	1.24	1.49	1.46	1.26
	4	1.65	1.62	1.27	1.57	1.54	1.23	1.53	1.49	1.31	1.46	1.43	1.24
	5	1.66	1.63	1.29	1.59	1.56	1.24	1.55	1.51	1.32	1.49	1.46	1.23
	6	1.67	1.64	1.30	1.61	1.57	1.26	1.58	1.53	1.33	1.51	1.48	1.23
	7	1.71	1.67	1.39	1.76	1.71	1.42	1.76	1.72	1.40	1.81	1.77	1.40
	8	1.70	1.66	1.39	1.76	1.71	1.42	1.77	1.72	1.40	1.82	1.77	1.42
	9	1.69	1.65	1.39	1.76	1.71	1.43	1.77	1.72	1.41	1.83	1.78	1.43
	10	1.49	1.46	1.39	1.44	1.41	1.38	1.45	1.42	1.30	1.45	1.42	1.34
	11	1.50	1.47	1.38	1.44	1.42	1.37	1.45	1.42	1.30	1.42	1.39	1.34
	12	1.51	1.48	1.38	1.45	1.42	1.36	1.46	1.43	1.30	1.40	1.37	1.33
FIBRA	2	1.50	1.47	1.23	1.53	1.50	1.26	1.53	1.50	1.26	<b>1.52</b>	1.49	1.29
	3	1.50	1.47	1.23	1.53	1.49	1.25	1.53	1.50	1.26	1.52	1.49	1.28
	4	1.57	1.55	1.30	1.56	1.53	1.27	1.50	1.47	1.33	1.51	1.49	1.27
	5	1.57	1.55	1.31	1.56	1.53	1.29	1.50	1.47	1.33	1.52	1.49	1.27
	6	1.56	1.54	1.32	1.56	1.53	1.30	1.50	1.47	1.33	1.53	1.50	1.26
	7	1.54	1.51	1.32	1.58	1.55	1.34	1.59	1.56	1.32	1.62	1.59	1.35
	8	1.54	1.51	1.31	1.58	1.55	1.34	1.59	1.57	1.32	1.62	1.59	1.35
	9	1.54	1.51	1.31	1.58	1.55	1.34	1.60	1.57	1.33	1.62	1.60	1.35
	10	1.55	1.52	1.44	1.50	1.48	1.39	1.52	1.49	1.35	1.46	1.43	1.31
	11	1.55	1.52	1.45	1.50	1.48	1.39	1.53	1.49	1.35	1.45	1.42	1.31
	12	1.57	1.53	1.44	1.51	1.48	1.40	1.53	1.49	1.35	1.44	1.42	1.32
CADENA SC	2	1.52	1.49	1.24	1.54	1.51	1.27	1.54	1.51	1.27	<b>1.53</b>	1.50	1.30
	3	1.52	1.49	1.23	1.54	1.50	1.26	1.54	1.51	1.27	1.53	1.50	1.29
	4	1.65	1.63	1.34	1.62	1.60	1.29	1.56	1.53	1.37	1.56	1.53	1.28
	5	1.65	1.62	1.35	1.63	1.60	1.31	1.57	1.53	1.38	1.57	1.54	1.28
	6	1.64	1.62	1.36	1.63	1.60	1.33	1.57	1.54	1.37	1.59	1.56	1.28
	7	1.62	1.58	1.36	1.66	1.63	1.38	1.67	1.64	1.37	1.70	1.68	1.40
	8	1.61	1.58	1.36	1.65	1.62	1.39	1.67	1.64	1.37	1.71	1.68	1.40
	9	1.61	1.58	1.36	1.66	1.62	1.39	1.68	1.65	1.38	1.71	1.68	1.40
	10	1.58	1.54	1.48	1.53	1.51	1.43	1.56	1.52	1.38	1.51	1.48	1.35
	11	1.58	1.54	1.48	1.53	1.51	1.44	1.56	1.52	1.38	1.49	1.46	1.35
	12	1.59	1.55	1.47	1.54	1.51	1.44	1.56	1.52	1.38	1.48	1.46	1.36
Desplazamiento lateral (m)													
SEMI		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		1.56	1.53	1.24	1.56	1.52	1.25	1.56	1.52	1.28	<b>1.54</b>	1.51	1.27

P15NL3AS45CD2P0FSP

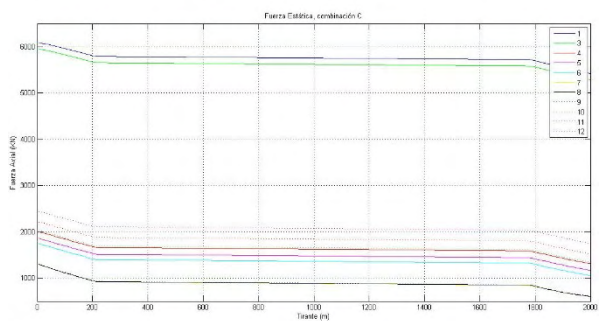
## TENSIONES ESTÁTICAS



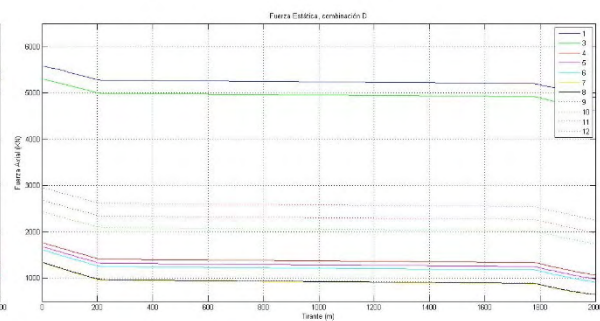
(A)



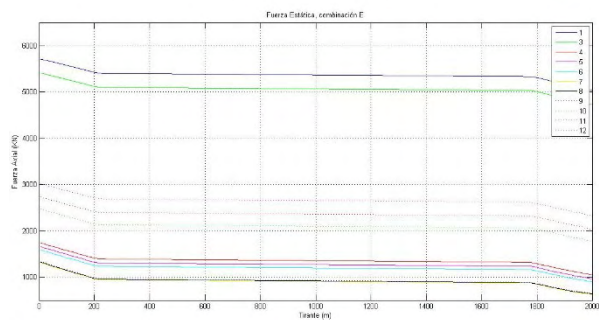
(B)



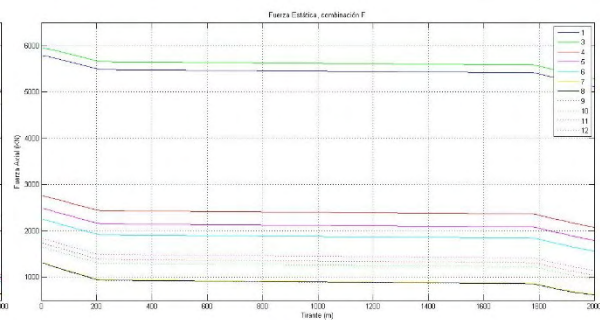
(C)



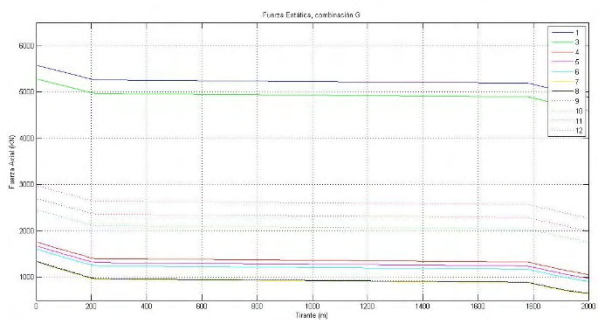
(D)



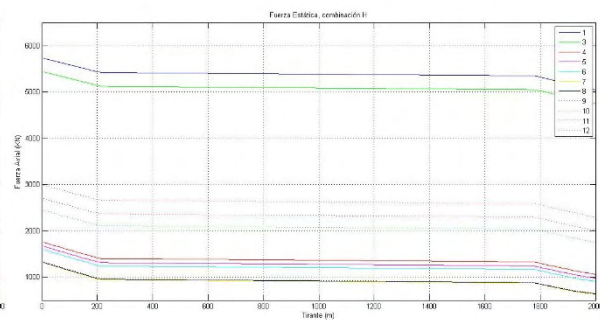
(E)



(F)



(G)



(H)

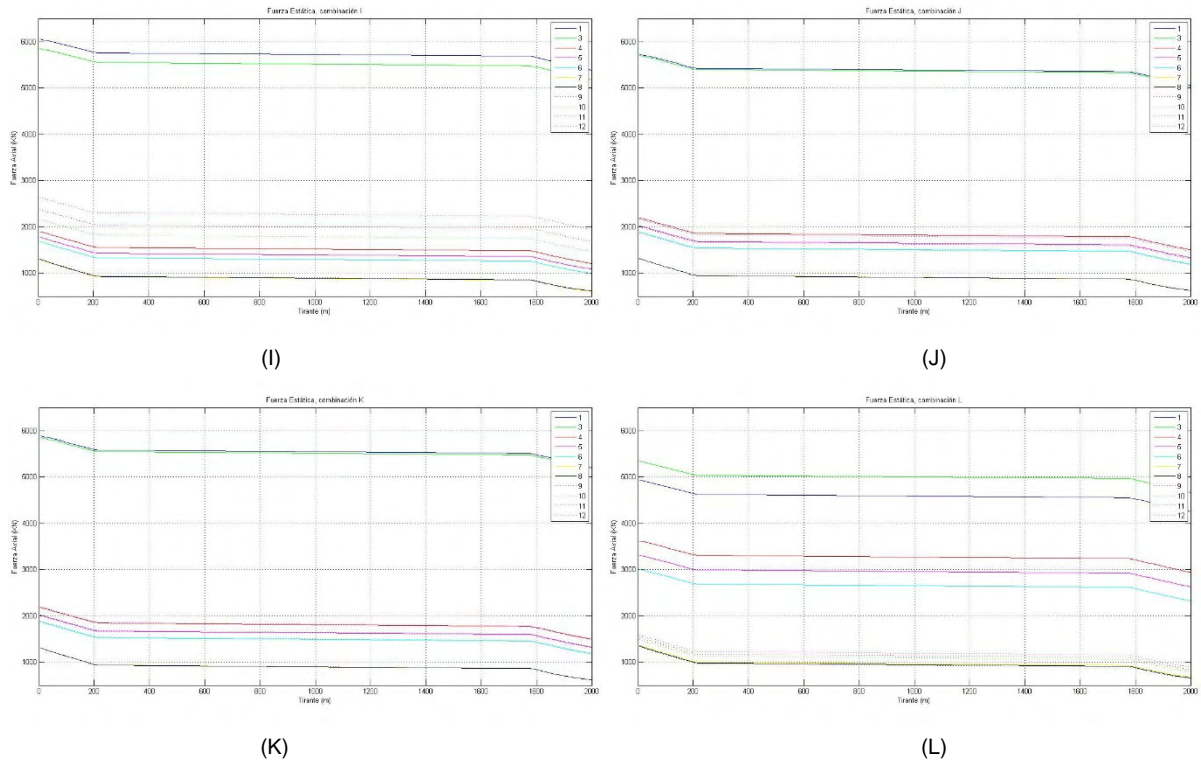
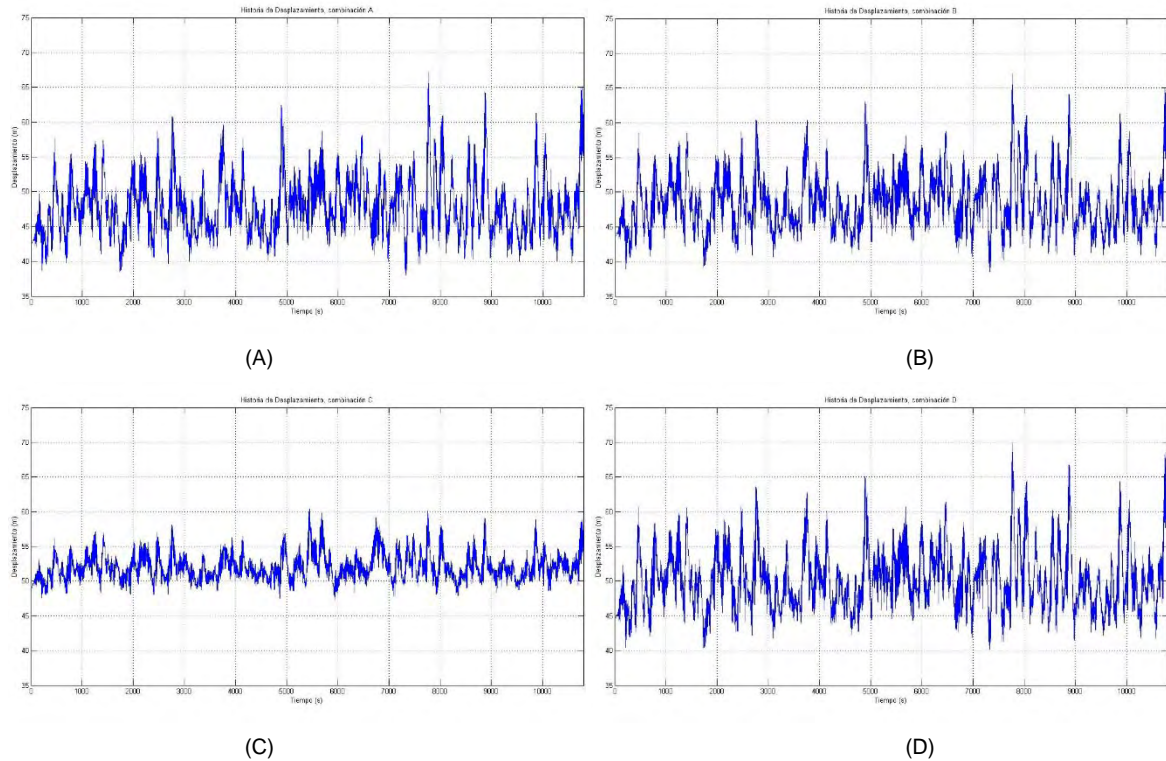


Figura A.22. Fuerzas axiales estáticas, P15NL3AS45CD2P0FSP.

## HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS DINÁMICOS





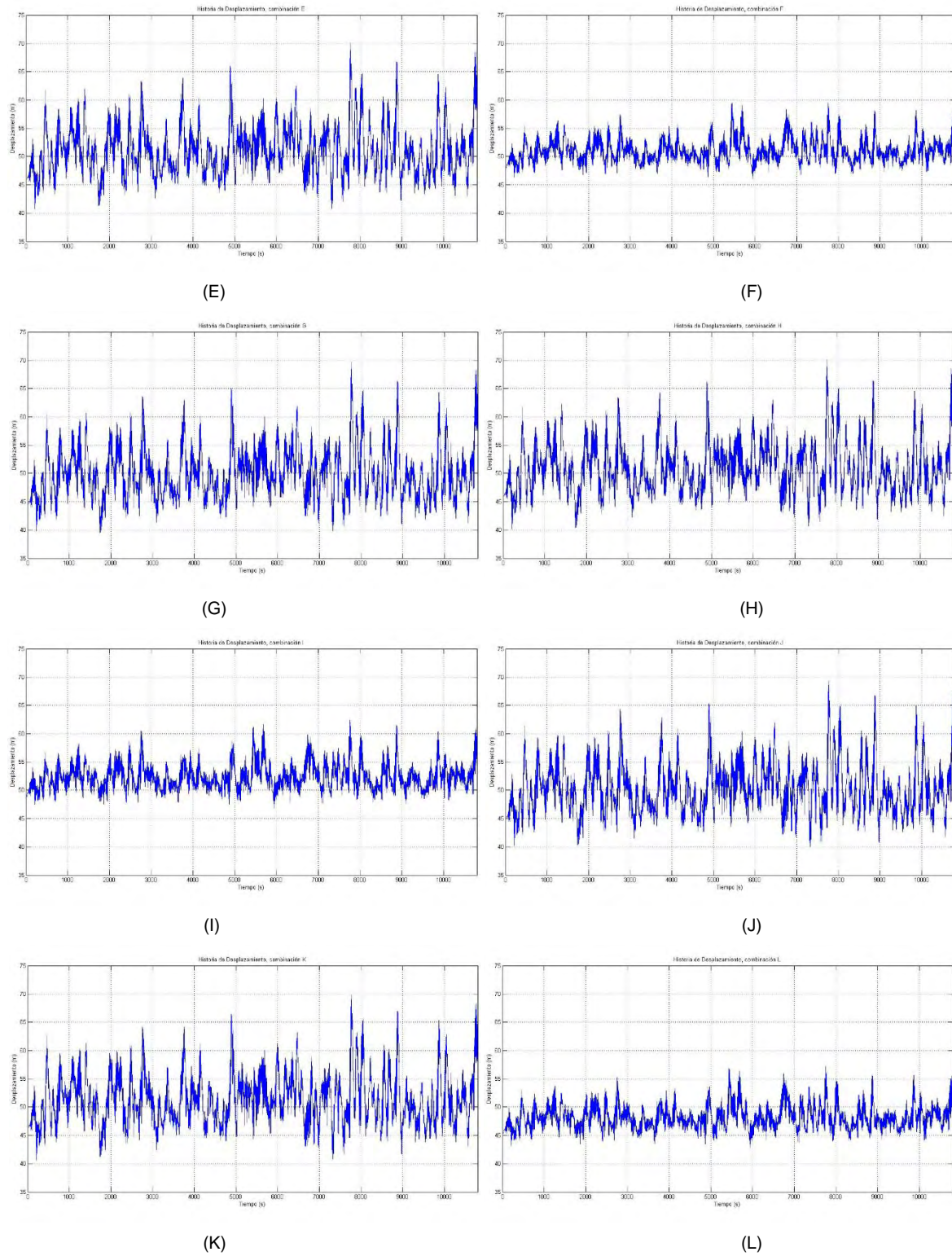
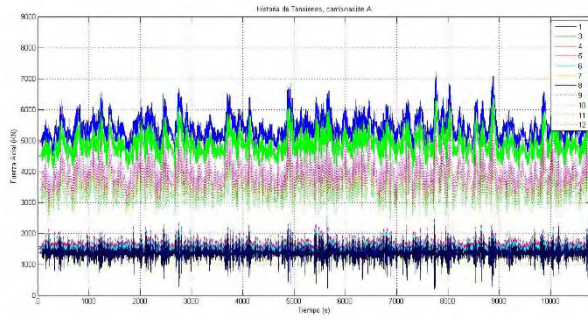


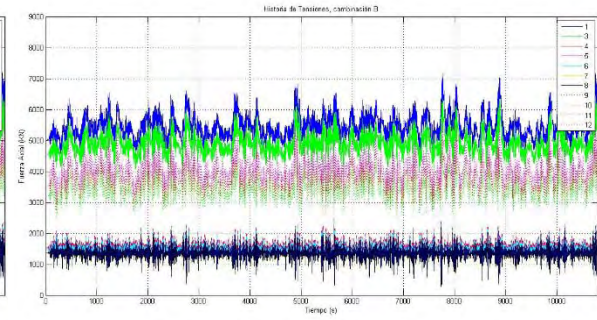
Figura A.23. Historia de Desplazamientos, P15NL3AS45CD2P0FSP.



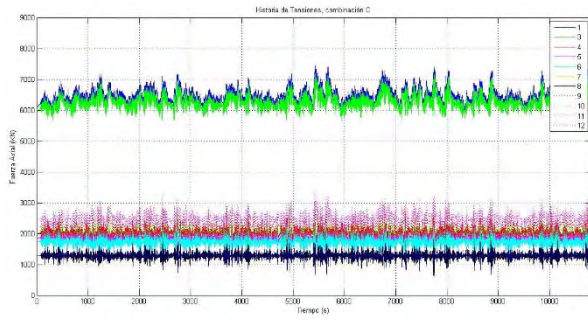
# HISTORIA DE TENSIONES



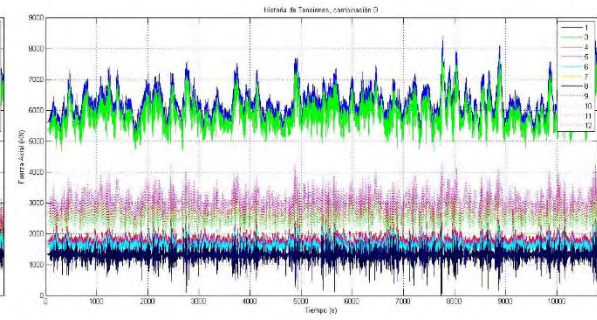
(A)



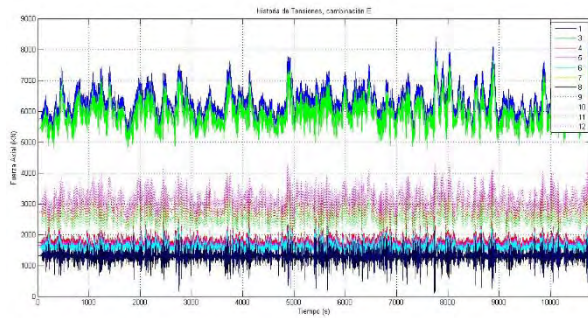
(B)



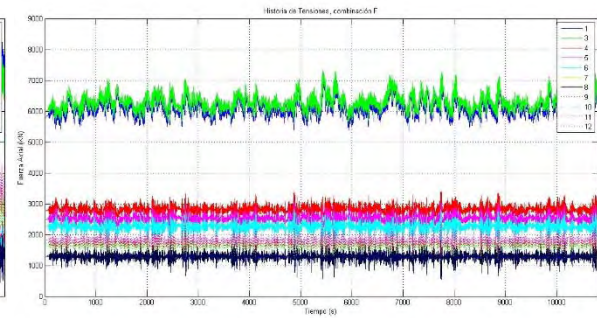
(C)



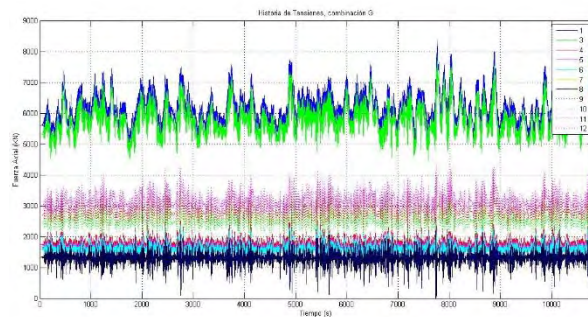
(D)



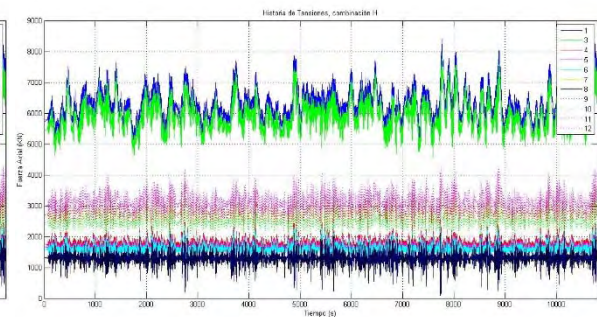
(E)



(F)



(G)



(H)

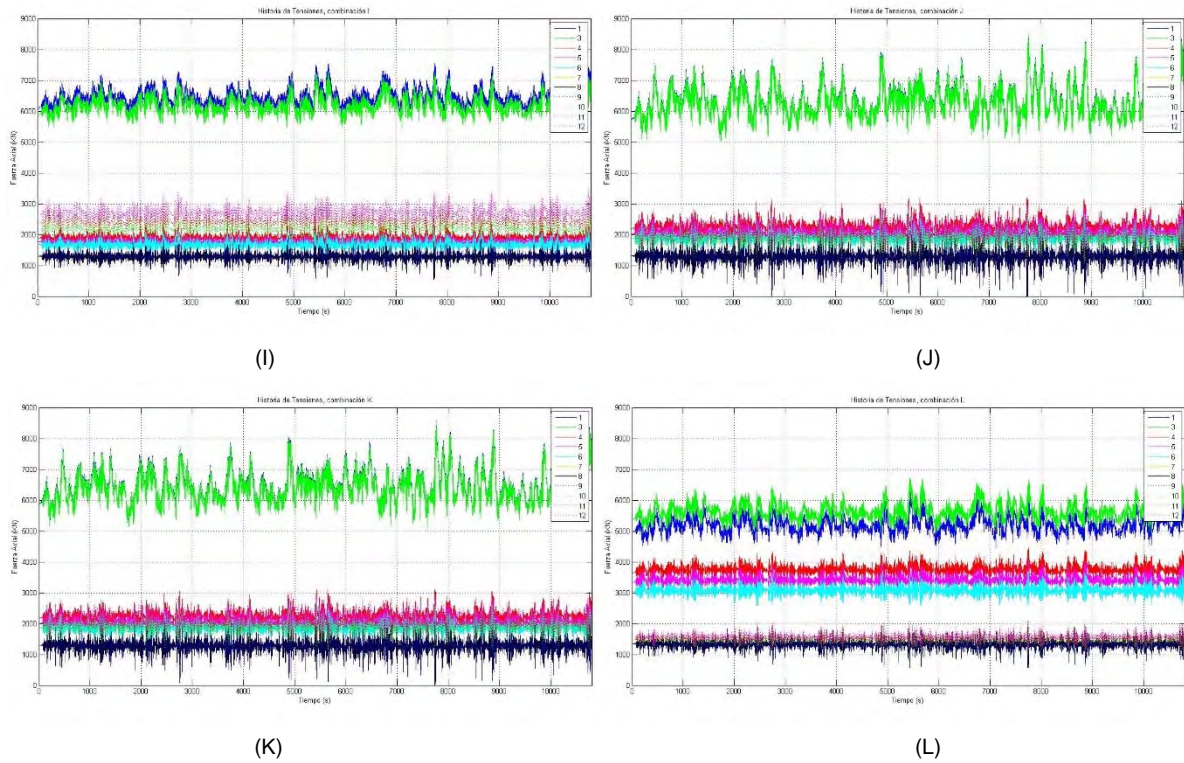
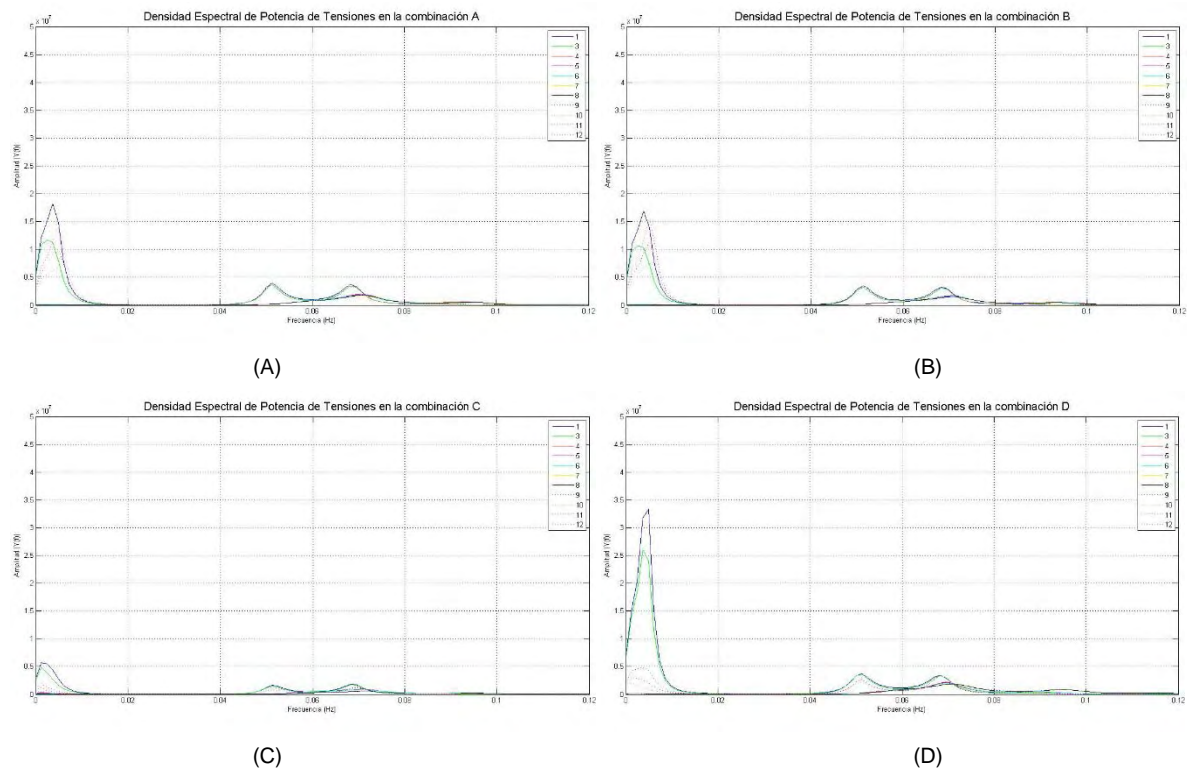


Figura A.24. Historia de tensiones dinámicas, P15NL3AS45CD2P0FSP.

## DISEÑO ESPECTRAL DE POTENCIA DE TENSIONES





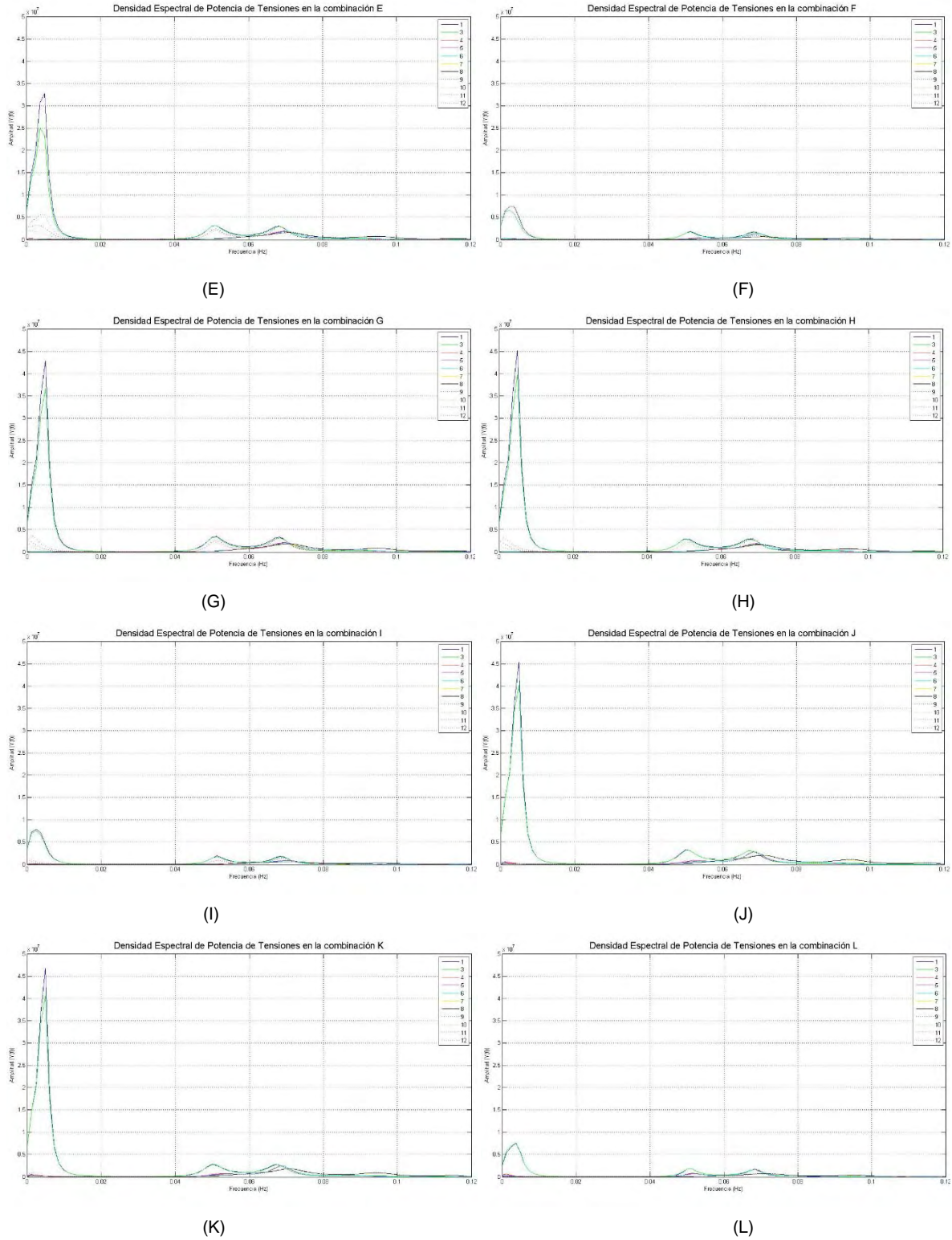


Figura A.25. Diseño espectral de potencia de tensiones, P15NL3AS45CD2P0FSP.

Tabla A.30. Tensiones y desplazamientos estáticos, P215NL3AS45CD2P0FSP.

Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
1	4910.20	4982.90	<b>6083.40</b>	5578.80	5705.70	5783.60	5567.10	5725.10	6053.00	5728.10	5884.60	4932.20
3	4462.10	4515.00	5946.30	5295.10	5404.80	5949.30	5275.00	5429.30	5847.80	5703.20	5849.40	5341.60
4	1561.00	1547.90	2002.10	1755.30	1738.90	2758.80	1748.40	1749.60	1898.70	2194.70	2180.70	3617.00
5	1515.20	1502.90	1858.70	1670.40	1654.90	2481.00	1665.90	1664.30	1777.60	2023.70	2007.70	3306.20
6	1477.00	1465.50	1745.50	1601.40	1586.80	2247.50	1598.70	1595.30	1682.10	1886.20	1869.70	3004.30
7	1367.80	1362.30	1295.90	1323.90	1316.10	1311.90	1323.20	1313.50	1297.20	1314.30	1304.10	1363.70
8	1383.90	1378.70	1298.20	1330.80	1323.30	1304.80	1330.30	1320.40	1301.10	1313.20	1303.20	1348.40
9	1403.50	1398.70	1303.00	1340.30	1333.10	1300.50	1340.00	1329.90	1307.60	1314.60	1304.90	1336.30
10	3138.90	3214.10	2032.90	2426.30	2468.00	1650.40	2441.50	2439.70	2157.20	1874.00	1884.20	1493.70
11	3431.50	3518.00	2216.10	2669.70	2726.10	1732.20	2687.50	2694.10	2371.20	2003.80	2020.80	1536.30
12	3726.50	3822.80	2442.70	2945.20	3017.20	1834.00	2964.90	2982.50	2629.90	2164.40	2190.90	1587.60
Fibra sintética poliéster (fibra)												
1	4604.30	4677.30	<b>5790.90</b>	5277.20	5404.50	5485.60	5262.30	5420.90	5759.40	5425.80	5582.80	4624.00
3	4152.70	4205.80	5653.90	4992.00	5102.10	5654.40	4967.50	5122.30	5551.20	5401.70	5548.30	5038.20
4	1209.20	1195.60	1663.70	1410.60	1393.80	2436.00	1401.50	1402.70	1556.40	1860.40	1846.20	3307.90
5	1161.20	1148.50	1516.80	1323.20	1307.30	2153.50	1316.10	1314.50	1431.70	1685.90	1669.60	2993.30
6	1121.10	1109.10	1400.60	1251.90	1236.80	1915.50	1246.30	1242.80	1332.80	1545.20	1528.20	2687.20
7	1004.30	998.48	923.45	957.17	949.01	943.01	958.17	947.98	925.37	947.88	937.13	1001.60
8	1021.50	1016.10	925.52	964.54	956.67	934.86	966.10	955.75	930.01	946.38	935.93	984.65
9	1042.40	1037.40	930.40	974.64	967.08	929.63	976.80	966.17	937.55	947.63	937.46	971.01
10	2816.40	2892.20	1694.50	2094.60	2136.90	1299.50	2112.70	2110.80	1822.90	1531.70	1542.10	1132.80
11	3112.00	3199.10	1881.20	2341.10	2398.10	1384.40	2362.40	2369.10	2041.20	1664.60	1682.00	1177.80
12	3409.70	3506.60	2111.20	2619.70	2692.30	1489.70	2643.50	2661.30	2304.30	1828.40	1855.40	1231.80
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
1	4523.70	4596.70	<b>5710.80</b>	5196.90	5324.20	5405.30	5182.00	5340.50	5679.20	5345.40	5502.50	4543.40
3	4072.00	4125.10	5573.70	4911.50	5021.70	5574.20	4887.00	5041.90	5470.90	5321.30	5468.10	4957.70
4	1125.20	1111.60	1581.10	1327.40	1310.60	2354.30	1318.20	1319.40	1473.50	1778.10	1763.90	3226.90
5	1077.10	1064.30	1433.90	1239.80	1223.80	2071.70	1232.60	1231.00	1348.60	1603.40	1587.00	2912.10
6	1036.80	1024.70	1317.40	1168.20	1153.00	1833.40	1162.50	1159.00	1249.30	1462.40	1445.40	2605.80
7	919.26	913.42	837.77	871.80	863.57	857.51	872.81	862.54	839.71	862.44	851.61	916.54
8	936.57	931.14	839.85	879.22	871.29	849.29	880.80	870.37	844.38	860.93	850.40	899.52
9	957.59	952.63	844.77	889.40	881.78	844.01	891.58	880.87	851.98	862.18	851.94	885.77
10	2735.10	2810.90	1612.00	2012.70	2055.00	1216.00	2030.80	2028.90	1740.70	1448.90	1459.30	1048.50
11	3030.80	3118.00	1799.00	2259.40	2316.50	1301.20	2280.80	2287.50	1959.20	1582.00	1599.50	1093.70
12	3328.60	3425.60	2029.20	2538.20	2610.90	1406.70	2562.10	2579.80	2222.60	1746.10	1773.10	1148.00
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	42.57	43.59	<b>48.86</b>	44.59	45.86	47.91	44.50	45.87	48.82	44.87	46.23	45.27

Tabla A.31. Tensiones y desplazamientos dinámicos, P15NL3AS45CD2P0FSP.

Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
1	7208.20	7160.50	7449.60	8394.30	8393.80	7228.20	8361.10	8414.00	7549.30	8520.80	<b>8577.20</b>	6284.40
3	6496.00	6438.70	7191.30	7913.30	7898.50	7317.00	7878.40	7942.70	7275.70	8479.50	8520.30	6712.80
4	2556.50	2490.40	2532.20	2735.20	2658.60	3379.10	2661.30	2594.40	2477.90	3187.60	3107.40	4459.30
5	2504.00	2433.30	2384.70	2641.70	2564.10	3071.30	2576.70	2506.90	2342.10	2988.10	2907.80	4064.30
6	2459.10	2390.00	2266.10	2561.30	2487.00	2811.00	2505.00	2436.90	2231.70	2836.50	2759.20	3681.90
7	2335.30	2268.30	1803.50	2325.00	2249.70	1859.20	2324.70	2255.30	1816.10	2379.60	2303.80	1914.90
8	2350.10	2280.40	1805.40	2341.30	2263.70	1859.60	2343.40	2269.90	1830.90	2390.30	2312.60	1908.30
9	2377.60	2305.70	1816.70	2359.70	2281.40	1858.30	2365.20	2290.90	1845.30	2409.10	2324.90	1901.20
10	4732.90	4724.40	2836.10	3535.70	3517.90	2270.70	3572.00	3489.50	2809.60	2744.70	2697.80	2006.60
11	5162.00	5198.50	3071.40	3879.40	3881.00	2371.20	3939.20	3865.50	3080.90	2883.20	2839.10	2056.00
12	5673.40	5707.80	3375.10	4272.70	4300.90	2502.00	4370.00	4300.90	3430.20	3054.20	3021.30	2115.40
Fibra sintética poliéster (fibra)												
1	6945.90	6891.30	7187.00	8116.10	8115.30	6961.20	8080.50	8133.20	7288.70	8236.00	<b>8291.10</b>	6007.10
3	6233.50	6173.80	6927.50	7634.10	7618.60	7054.70	7594.90	7659.10	7005.70	8195.70	8235.20	6441.00
4	1899.10	1853.80	2158.80	2192.10	2133.10	3071.70	2093.70	2053.10	2072.00	2790.80	2728.10	4171.20
5	1819.10	1775.90	1983.20	2057.80	2003.00	2756.40	1970.60	1931.10	1907.20	2548.10	2484.80	3769.80
6	1753.00	1710.10	1841.50	1947.60	1894.00	2483.30	1873.50	1832.30	1773.90	2352.30	2290.30	3381.10
7	1547.40	1510.60	1217.20	1508.50	1470.90	1259.50	1523.80	1482.10	1222.60	1533.30	1490.00	1349.80
8	1571.60	1534.10	1216.70	1521.20	1483.00	1253.80	1539.90	1499.80	1230.20	1532.90	1490.40	1324.50
9	1602.70	1564.10	1222.30	1538.70	1498.80	1248.70	1561.20	1518.80	1242.50	1538.40	1497.70	1314.40
10	4414.10	4429.90	2454.50	3163.20	3172.10	1794.00	3242.00	3165.40	2478.60	2250.90	2221.00	1481.50
11	4870.90	4905.10	2729.90	3548.20	3571.70	1925.40	3643.20	3568.70	2765.90	2425.00	2400.00	1544.00
12	5386.20	5418.10	3062.10	3983.20	4009.20	2085.80	4084.40	4014.70	3128.80	2642.20	2646.70	1624.00
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
1	6907.70	6850.90	7126.80	8055.70	8052.90	6901.20	8020.70	8071.80	7229.20	8170.60	<b>8224.60</b>	5944.90
3	6193.90	6132.00	6867.70	7571.80	7554.60	6994.20	7534.30	7597.40	6943.90	8130.20	8168.50	6378.90
4	1851.40	1803.20	2103.90	2149.90	2087.70	3017.70	2052.70	2009.20	2015.80	2749.70	2683.80	4112.90
5	1770.80	1725.00	1930.30	2015.20	1957.10	2699.20	1928.60	1886.50	1850.80	2507.00	2438.40	3711.10
6	1699.60	1656.20	1786.40	1899.70	1844.10	2425.10	1827.70	1783.60	1715.30	2312.20	2247.00	3321.40
7	1486.30	1447.40	1140.20	1443.20	1404.10	1186.60	1459.20	1414.80	1150.60	1469.30	1426.90	1278.40
8	1513.40	1474.30	1141.00	1455.20	1415.10	1181.80	1476.80	1430.90	1160.40	1471.30	1428.80	1256.00
9	1545.90	1505.10	1147.90	1473.10	1432.30	1175.90	1500.80	1455.50	1171.80	1477.10	1435.70	1241.00
10	4365.80	4382.40	2398.00	3114.00	3125.40	1732.80	3192.10	3114.30	2422.70	2203.50	2173.60	1413.70
11	4810.50	4845.10	2672.00	3498.20	3525.30	1864.50	3593.70	3519.10	2710.80	2378.40	2351.50	1478.60
12	5327.20	5359.70	3002.80	3938.00	3964.00	2026.40	4032.30	3963.00	3074.60	2593.60	2597.00	1560.20
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	67.09	67.06	60.41	69.91	<b>70.13</b>	59.47	69.71	70.08	62.35	69.35	69.82	57.18

Tabla A.32. Relaciones dinámicos-estáticos, P15NL3AS45CD2P0FSP.

Sección	Línea	Combinación											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena FC	1	1.47	1.44	1.22	1.50	1.47	1.25	1.50	1.47	1.25	<b>1.49</b>	1.46	1.27
	3	1.46	1.43	1.21	1.49	1.46	1.23	1.49	1.46	1.24	1.49	1.46	1.26
	4	1.64	1.61	1.26	1.56	1.53	1.22	1.52	1.48	1.31	1.45	1.42	1.23
	5	1.65	1.62	1.28	1.58	1.55	1.24	1.55	1.51	1.32	1.48	1.45	1.23
	6	1.66	1.63	1.30	1.60	1.57	1.25	1.57	1.53	1.33	1.50	1.48	1.23
	7	1.71	1.67	1.39	1.76	1.71	1.42	1.76	1.72	1.40	1.81	1.77	1.40
	8	1.70	1.65	1.39	1.76	1.71	1.43	1.76	1.72	1.41	1.82	1.77	1.42
	9	1.69	1.65	1.39	1.76	1.71	1.43	1.77	1.72	1.41	1.83	1.78	1.42
	10	1.51	1.47	1.40	1.46	1.43	1.38	1.46	1.43	1.30	1.46	1.43	1.34
	11	1.50	1.48	1.39	1.45	1.42	1.37	1.47	1.43	1.30	1.44	1.40	1.34
	12	1.52	1.49	1.38	1.45	1.43	1.36	1.47	1.44	1.30	1.41	1.38	1.33
Fibra	1	1.51	1.47	1.24	1.54	1.50	1.27	1.54	1.50	1.27	<b>1.52</b>	1.49	1.30
	3	1.50	1.47	1.23	1.53	1.49	1.25	1.53	1.50	1.26	1.52	1.48	1.28
	4	1.57	1.55	1.30	1.55	1.53	1.26	1.49	1.46	1.33	1.50	1.48	1.26
	5	1.57	1.55	1.31	1.56	1.53	1.28	1.50	1.47	1.33	1.51	1.49	1.26
	6	1.56	1.54	1.31	1.56	1.53	1.30	1.50	1.47	1.33	1.52	1.50	1.26
	7	1.54	1.51	1.32	1.58	1.55	1.34	1.59	1.56	1.32	1.62	1.59	1.35
	8	1.54	1.51	1.31	1.58	1.55	1.34	1.59	1.57	1.32	1.62	1.59	1.35
	9	1.54	1.51	1.31	1.58	1.55	1.34	1.60	1.57	1.33	1.62	1.60	1.35
	10	1.57	1.53	1.45	1.51	1.48	1.38	1.53	1.50	1.36	1.47	1.44	1.31
	11	1.57	1.53	1.45	1.52	1.49	1.39	1.54	1.51	1.36	1.46	1.43	1.31
	12	1.58	1.55	1.45	1.52	1.49	1.40	1.55	1.51	1.36	1.45	1.43	1.32
Cadena SC	1	1.53	1.49	1.25	1.55	1.51	1.28	1.55	1.51	1.27	<b>1.53</b>	1.49	1.31
	3	1.52	1.49	1.23	1.54	1.50	1.25	1.54	1.51	1.27	1.53	1.49	1.29
	4	1.65	1.62	1.33	1.62	1.59	1.28	1.56	1.52	1.37	1.55	1.52	1.27
	5	1.64	1.62	1.35	1.63	1.60	1.30	1.56	1.53	1.37	1.56	1.54	1.27
	6	1.64	1.62	1.36	1.63	1.60	1.32	1.57	1.54	1.37	1.58	1.55	1.27
	7	1.62	1.58	1.36	1.66	1.63	1.38	1.67	1.64	1.37	1.70	1.68	1.39
	8	1.62	1.58	1.36	1.66	1.62	1.39	1.68	1.64	1.37	1.71	1.68	1.40
	9	1.61	1.58	1.36	1.66	1.62	1.39	1.68	1.65	1.38	1.71	1.69	1.40
	10	1.60	1.56	1.49	1.55	1.52	1.43	1.57	1.53	1.39	1.52	1.49	1.35
	11	1.59	1.55	1.49	1.55	1.52	1.43	1.58	1.54	1.38	1.50	1.47	1.35
	12	1.60	1.56	1.48	1.55	1.52	1.44	1.57	1.54	1.38	1.49	1.46	1.36
Desplazamiento lateral (m)													
SEMI		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		1.58	1.54	1.24	1.57	1.53	1.24	1.57	1.53	1.28	<b>1.55</b>	1.51	1.26



Debido a la doble simetría de las líneas de amarre, solo se muestran las coordenadas de las primeras 3 o 4 líneas de amarre del sistema de amarre. Solamente la variable del ángulo de salida modifica las coordenadas del punto de anclaje, mientras que el punto de amarre permanece constante de acuerdo a la cantidad de líneas por columna.

Tabla A.33. Coordenadas de los puntos de amarre y de anclaje del sistema de amarre para 1,500 m de tirante de agua.

Modelo	Línea	Punto de amarre		
		X	Y	Z
Todos los modelos 3 líneas por columna	1	45.00	35.00	-19.00
	2	45.00	37.00	-19.00
	3	45.00	39.00	-19.00
Punto de anclaje				
P15NL3AS45	1	1179.50	986.97	-1500.00
	2	1092.20	1084.20	-1500.00
	3	996.97	1173.50	-1500.00
P15NL3AS46	1	1236.20	1034.60	-1500.00
	2	1144.60	1136.60	-1500.00
	3	1044.60	1230.20	-1500.00
P15NL3AS47	1	1293.0	1082.2	-1500.0
	2	1196.9	1188.9	-1500.0
	3	1092.2	1287.0	-1500.0
Modelo	Línea	Punto de amarre		
		X	Y	Z
Todos los modelos 4 líneas por columna	1	45.00	36.00	-19.00
	2	45.00	38.00	-19.00
	3	45.00	40.00	-19.00
	4	45.00	42.00	-19.00
Punto de anclaje				
P15NL4AS45	1	1220.00	937.58	-1500.00
	2	1136.90	1038.50	-1500.00
	3	1045.50	1131.90	-1500.00
	4	946.58	1217.00	-1500.00
P15NL4AS46	1	1278.70	982.65	-1500.00
	2	1191.50	1088.60	-1500.00
	3	1095.60	1186.50	-1500.00
	4	991.65	1275.70	-1500.00
P15NL4AS47	1	1337.50	1027.70	-1500.00
	2	1246.10	1138.60	-1500.00
	3	1145.60	1241.10	-1500.00
	4	1337.50	1027.70	-1500.00

Tabla A.34. Propiedades geométricas del sistema de amarre para 1,500 m de tirante de agua y 3 líneas por columna.

Modelo	Sección	Tipo	D (m)	MBL (KN)	Peso (TON)
P15NL3AS45CIP0FSP	Cadena FC	Studlink	0.107	11,118	630.18
P15NL3AS45CD1P0FSP	Fibra	Poliéster	0.201	10,987	735.61
P15NL3AS45CD2P0FSP	Cadena SC	Studlink	0.105	10,754	910.26
P15NL3AS45CIP1FSP	Cadena FC	Studlink	0.102	10,217	576.76
P15NL3AS45CD1P1FSP	Fibra	Poliéster	0.185	9,810	627.50
P15NL3AS45CD2P1FSP	Cadena SC	Studlink	0.1	9,864	831.55
P15NL3AS45CIP2FSP	Cadena FC	Studlink	0.097	9,343	525.31
P15NL3AS45CD1P2FSP	Fibra	Poliéster	0.177	8,829	577.82
P15NL3AS45CD2P2FSP	Cadena SC	Studlink	0.095	9,001	755.81
P15NL3AS46CIP0FSP	Cadena FC	Studlink	0.107	11,118	646.12
P15NL3AS46CD1P0FSP	Fibra	Poliéster	0.201	10,987	754.22
P15NL3AS46CD2P0FSP	Cadena SC	Studlink	0.105	10,754	933.30
P15NL3AS46CIP1FSP	Cadena FC	Studlink	0.102	10,217	591.25
P15NL3AS46CD1P1FSP	Fibra	Poliéster	0.185	9,810	643.27
P15NL3AS46CD2P1FSP	Cadena SC	Studlink	0.100	9,343	802.06
P15NL3AS46CIP2FSP	Cadena FC	Studlink	0.097	9,343	538.41
P15NL3AS46CD1P2FSP	Fibra	Poliéster	0.177	8,829	592.24
P15NL3AS46CD2P2FSP	Cadena SC	Studlink	0.095	9,001	774.66
P15NL3AS47CIP0FSP	Cadena FC	Studlink	0.107	11,118	662.44
P15NL3AS47CD1P0FSP	Fibra	Poliéster	0.201	10,987	773.26
P15NL3AS47CD2P0FSP	Cadena SC	Studlink	0.105	10,754	956.86
P15NL3AS47CIP1FSP	Cadena FC	Studlink	0.1	9,864	578.60
P15NL3AS47CD1P1FSP	Fibra	Poliéster	0.185	9,810	654.93
P15NL3AS47CD2P1FSP	Cadena SC	Studlink	0.097	9,343	816.60
P15NL3AS47CIP2FSP	Cadena FC	Studlink	0.097	9,343	551.82
P15NL3AS47CD1P2FSP	Fibra	Poliéster	0.177	8,829	606.99
P15NL3AS47CD2P2FSP	Cadena SC	Studlink	0.095	9,001	793.95

Tabla A.35. Propiedades geométricas del sistema de amarre para 1,500 m de tirante de agua y 4 líneas por columna.

Modelo	Sección	Tipo	D (m)	MBL (KN)	Peso (TON)
P15NL4AS45CIP0FSP	Cadena FC	Studlink	0.09	8,167	594.46
P15NL4AS45CD1P0FSP	Fibra	Poliéster	0.168	7,848	684.16
P15NL4AS45CD2P0FSP	Cadena SC	Studlink	0.087	7682	833.23
P15NL4AS45CIP1FSP	Cadena FC	Studlink	0.09	8167	598.71
P15NL4AS45CD1P1FSP	Fibra	Poliéster	0.168	7848	689.06
P15NL4AS45CD2P1FSP	Cadena SC	Studlink	0.087	7682	839.20
P15NL4AS45CIP2FSP	Cadena FC	Studlink	0.084	7208	525.25
P15NL4AS45CD1P2FSP	Fibra	Poliéster	0.158	6959	614.31
P15NL4AS45CD2P2FSP	Cadena SC	Studlink	0.084	6745	732.61
P15NL4AS46CIP0FSP	Cadena FC	Studlink	0.09	8167	609.50
P15NL4AS46CD1P0FSP	Fibra	Poliéster	0.168	7848	701.48
P15NL4AS46CD2P0FSP	Cadena SC	Studlink	0.087	7682	854.31
P15NL4AS46CIP1FSP	Cadena FC	Studlink	0.09	8167	613.76
P15NL4AS46CD1P1FSP	Fibra	Poliéster	0.168	7848	706.38
P15NL4AS46CD2P1FSP	Cadena SC	Studlink	0.087	7682	860.28
P15NL4AS46CIP2FSP	Cadena FC	Studlink	0.084	7208	538.38
P15NL4AS46CD1P2FSP	Fibra	Poliéster	0.158	6959	629.64
P15NL4AS46CD2P2FSP	Cadena SC	Studlink	0.081	6745	750.89
P15NL4AS47CIP0FSP	Cadena FC	Studlink	0.09	8167	624.89
P15NL4AS47CD1P0FSP	Fibra	Poliéster	0.168	7848	719.18
P15NL4AS47CD2P0FSP	Cadena SC	Studlink	0.087	7682	875.88
P15NL4AS47CIP1FSP	Cadena FC	Studlink	0.084	7208	548.05
P15NL4AS47CD1P1FSP	Fibra	Poliéster	0.158	6959	640.98
P15NL4AS47CD2P1FSP	Cadena SC	Studlink	0.084	6745	764.41
P15NL4AS47CIP2FSP	Cadena FC	Studlink	0.084	7208	551.76
P15NL4AS47CD1P2FSP	Fibra	Poliéster	0.158	6959	645.31
P15NL4AS47CD2P2FSP	Cadena SC	Studlink	0.081	6745	769.58

Tabla A.36. Factores de seguridad mínimos para caso de estudio 2: 1,500 m de tirante de agua y 3 líneas.

Modelo	Análisis estático				Análisis dinámico			
	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	API-2RP-SK	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	API-2RP-SK
P15NL3AS45CIP0FSP	2.53	2.68	2.67	2.00	1.71	1.77	1.75	1.67
P15NL3AS45CD1P0FSP	1.84	1.91	1.89	1.43	1.30	1.32	1.31	1.25
P15NL3AS45CD2P0FSP	1.83	1.90	1.88	1.43	1.30	1.33	1.31	1.25
P15NL3AS45CIP1FSP	2.54	2.62	2.69	2.00	1.74	1.75	1.74	1.67
P15NL3AS45CD1P1FSP	1.85	1.87	1.91	1.43	1.31	1.30	1.32	1.25
P15NL3AS45CD2P1FSP	1.84	1.90	1.89	1.43	1.31	1.30	1.32	1.25
P15NL3AS45CIP2FSP	2.49	2.52	2.61	2.00	1.70	1.68	1.72	1.67
P15NL3AS45CD1P2FSP	1.82	1.81	1.87	1.43	1.28	1.25	1.28	1.25
P15NL3AS45CD2P2FSP	1.79	1.85	1.89	1.43	1.28	1.25	1.28	1.25
P15NL3AS46CIP0FSP	2.54	2.69	2.69	2.00	1.72	1.78	1.77	1.67
P15NL3AS46CD1P0FSP	1.85	1.92	1.91	1.43	1.31	1.34	1.32	1.25
P15NL3AS46CD2P0FSP	1.84	1.91	1.90	1.43	1.31	1.34	1.32	1.25
P15NL3AS46CIP1FSP	2.58	2.66	2.72	2.00	1.76	1.77	1.79	1.67
P15NL3AS46CD1P1FSP	1.88	1.90	1.93	1.43	1.32	1.32	1.34	1.25
P15NL3AS46CD2P1FSP	1.86	1.88	1.91	1.43	1.28	1.32	1.34	1.25
P15NL3AS46CIP2FSP	2.53	2.66	2.66	2.00	1.74	1.71	1.75	1.67
P15NL3AS46CD1P2FSP	1.85	1.84	1.90	1.43	1.30	1.27	1.30	1.25
P15NL3AS46CD2P2FSP	1.70	1.81	1.86	1.43	1.30	1.27	1.30	1.25
P15NL3AS47CIP0FSP	2.55	2.71	2.70	2.00	1.74	1.80	1.79	1.67
P15NL3AS47CD1P0FSP	1.86	1.93	1.92	1.43	1.32	1.35	1.33	1.25
P15NL3AS47CD2P0FSP	1.85	1.92	1.91	1.43	1.32	1.35	1.33	1.25
P15NL3AS47CIP1FSP	2.54	2.71	2.63	2.00	1.72	1.79	1.72	1.67
P15NL3AS47CD1P1FSP	1.85	1.93	1.86	1.43	1.30	1.33	1.28	1.25
P15NL3AS47CD2P1FSP	1.83	1.91	1.84	1.43	1.30	1.34	1.28	1.25
P15NL3AS47CIP2FSP	2.57	2.61	2.71	2.00	1.77	1.74	1.79	1.67
P15NL3AS47CD1P2FSP	1.88	1.87	1.93	1.43	1.32	1.29	1.32	1.25
P15NL3AS47CD2P2FSP	1.85	1.84	1.90	1.43	1.32	1.29	1.33	1.25

Tabla A.37. Factores de seguridad mínimos para caso de estudio 2: 1,500 m de tirante de agua y 4 líneas.

Modelo	Análisis estático				Análisis dinámico			
	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	API-2RP-SK	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	API-2RP-SK
P15NL4AS45CIP0FSP	2.52	2.59	2.58	2.00	1.71	1.71	1.69	1.67
P15NL4AS45CD1P0FSP	2.01	2.03	2.02	1.43	1.40	1.40	1.38	1.25
P15NL4AS45CD2P0FSP	2.00	2.02	2.01	1.43	1.41	1.40	1.38	1.25
P15NL4AS45CIP1FSP	2.63	2.71	2.70	2.00	1.77	1.83	1.76	1.67
P15NL4AS45CD1P1FSP	2.11	2.14	2.12	1.43	1.47	1.47	1.45	1.25
P15NL4AS45CD2P1FSP	2.15	2.18	2.17	1.43	1.48	1.48	1.46	1.25
P15NL4AS45CIP2FSP	2.47	2.55	2.69	2.00	1.67	1.68	1.75	1.67
P15NL4AS45CD1P2FSP	1.99	2.02	2.12	1.43	1.40	1.40	1.46	1.25
P15NL4AS45CD2P2FSP	1.95	1.97	1.94	1.43	1.37	1.36	1.32	1.25
P15NL4AS46CIP0FSP	2.54	2.61	2.60	2.00	1.73	1.73	1.71	1.67
P15NL4AS46CD1P0FSP	2.02	2.05	2.03	1.43	1.42	1.41	1.40	1.25
P15NL4AS46CD2P0FSP	2.01	2.04	2.02	1.43	1.42	1.42	1.40	1.25
P15NL4AS46CIP1FSP	2.66	2.74	2.74	2.00	1.80	1.81	1.79	1.67
P15NL4AS46CD1P1FSP	2.13	2.16	2.15	1.43	1.49	1.49	1.47	1.25
P15NL4AS46CD2P1FSP	2.10	2.13	2.12	1.43	1.48	1.48	1.46	1.25
P15NL4AS46CIP2FSP	2.52	2.60	2.57	2.00	1.71	1.71	1.67	1.67
P15NL4AS46CD1P2FSP	2.03	2.06	2.03	1.43	1.42	1.42	1.39	1.25
P15NL4AS46CD2P2FSP	1.98	2.01	1.98	1.43	1.39	1.39	1.35	1.25
P15NL4AS47CIP0FSP	2.55	2.62	2.61	2.00	1.74	1.75	1.73	1.67
P15NL4AS47CD1P0FSP	2.01	2.06	2.04	1.43	1.43	1.43	1.41	1.25
P15NL4AS47CD2P0FSP	2.02	2.05	2.04	1.43	1.44	1.43	1.41	1.25
P15NL4AS47CIP1FSP	2.46	2.53	2.67	2.00	1.68	1.69	1.77	1.67
P15NL4AS47CD1P1FSP	1.97	2.00	2.10	1.43	1.38	1.38	1.45	1.25
P15NL4AS47CD2P1FSP	1.94	1.97	2.07	1.43	1.39	1.38	1.44	1.25
P15NL4AS47CIP2FSP	2.56	2.65	2.61	2.00	1.73	1.75	1.70	1.67
P15NL4AS47CD1P2FSP	2.06	2.10	2.06	1.43	1.44	1.44	1.41	1.25
P15NL4AS47CD2P2FSP	2.02	2.05	2.01	1.43	1.41	1.41	1.37	1.25

Tabla A.38. Revisión de desplazamientos para caso de estudio 2: 1,500 m de tirante de agua y 3 líneas.

Modelo	Análisis estático			Análisis dinámico		
	Desp hor (m)	6% tirante (90 m)	8% tirante (120 m)	Desp hor (m)	6% tirante (90 m)	8% tirante (120 m)
P15NL3AS45CIP0FSP	35.22	cumple	cumple	57.04	cumple	cumple
P15NL3AS45CD1P0FSP	49.57	cumple	cumple	71.37	cumple	cumple
P15NL3AS45CD2P0FSP	48.86	cumple	cumple	70.13	cumple	cumple
P15NL3AS45CIP1FSP	61.91	cumple	cumple	84.69	cumple	cumple
P15NL3AS45CD1P1FSP	73.69	cumple	cumple	97.97	no cumple	cumple
P15NL3AS45CD2P1FSP	72.05	cumple	cumple	96.06	no cumple	cumple
P15NL3AS45CIP2FSP	89.45	cumple	cumple	112.26	no cumple	cumple
P15NL3AS45CD1P2FSP	100.39	no cumple	cumple	125.35	no cumple	no cumple
P15NL3AS45CD2P2FSP	99.25	no cumple	cumple	123.24	no cumple	no cumple
P15NL3AS46CIP0FSP	34.61	cumple	cumple	56.08	cumple	cumple
P15NL3AS46CD1P0FSP	48.92	cumple	cumple	70.46	cumple	cumple
P15NL3AS46CD2P0FSP	48.24	cumple	cumple	69.22	cumple	cumple
P15NL3AS46CIP1FSP	60.40	cumple	cumple	83.02	cumple	cumple
P15NL3AS46CD1P1FSP	72.19	cumple	cumple	96.32	no cumple	cumple
P15NL3AS46CD2P1FSP	70.59	cumple	cumple	94.41	no cumple	cumple
P15NL3AS46CIP2FSP	87.13	cumple	cumple	109.94	no cumple	cumple
P15NL3AS46CD1P2FSP	98.18	no cumple	cumple	123.50	no cumple	no cumple
P15NL3AS46CD2P2FSP	97.02	no cumple	cumple	121.07	no cumple	no cumple
P15NL3AS47CIP0FSP	34.13	cumple	cumple	55.31	cumple	cumple
P15NL3AS47CD1P0FSP	48.44	cumple	cumple	69.74	cumple	cumple
P15NL3AS47CD2P0FSP	47.78	cumple	cumple	68.52	cumple	cumple
P15NL3AS47CIP1FSP	59.26	cumple	cumple	81.73	cumple	cumple
P15NL3AS47CD1P1FSP	70.98	cumple	cumple	95.03	no cumple	cumple
P15NL3AS47CD2P1FSP	69.41	cumple	cumple	93.13	no cumple	cumple
P15NL3AS47CIP2FSP	85.06	cumple	cumple	107.91	no cumple	cumple
P15NL3AS47CD1P2FSP	96.21	no cumple	cumple	121.68	no cumple	no cumple
P15NL3AS47CD2P2FSP	95.05	no cumple	cumple	118.94	no cumple	no cumple



Tabla A.39. Revisión de desplazamientos para caso de estudio 2: 1,500 m de tirante de agua y 4 líneas.

Modelo	Análisis estático			Análisis dinámico		
	Desp hor (m)	6% tirante (90 m)	8% tirante (120 m)	Desp hor (m)	6% tirante (90 m)	8% tirante (120 m)
P15NL4AS45CIP0FSP	36.79	cumple	cumple	58.56	cumple	cumple
P15NL4AS45CD1P0FSP	46.83	cumple	cumple	68.57	cumple	cumple
P15NL4AS45CD2P0FSP	46.34	cumple	cumple	67.75	cumple	cumple
P15NL4AS45CIP1FSP	60.46	cumple	cumple	82.48	cumple	cumple
P15NL4AS45CD1P1FSP	67.42	cumple	cumple	91.05	cumple	cumple
P15NL4AS45CD2P1FSP	66.23	cumple	cumple	89.74	cumple	cumple
P15NL4AS45CIP2FSP	88.08	cumple	cumple	110.27	no cumple	cumple
P15NL4AS45CD1P2FSP	95.83	no cumple	cumple	119.58	no cumple	cumple
P15NL4AS45CD2P2FSP	94.12	no cumple	cumple	117.91	no cumple	cumple
P15NL4AS46CIP0FSP	36.15	cumple	cumple	57.60	cumple	cumple
P15NL4AS46CD1P0FSP	46.15	cumple	cumple	67.58	cumple	cumple
P15NL4AS46CD2P0FSP	45.68	cumple	cumple	66.77	cumple	cumple
P15NL4AS46CIP1FSP	58.96	cumple	cumple	80.82	cumple	cumple
P15NL4AS46CD1P1FSP	65.96	cumple	cumple	89.31	cumple	cumple
P15NL4AS46CD2P1FSP	64.91	cumple	cumple	88.10	cumple	cumple
P15NL4AS46CIP2FSP	86.14	cumple	cumple	108.41	no cumple	cumple
P15NL4AS46CD1P2FSP	93.84	no cumple	cumple	117.57	no cumple	cumple
P15NL4AS46CD2P2FSP	92.16	no cumple	cumple	116.10	no cumple	cumple
P15NL4AS47CIP0FSP	35.65	cumple	cumple	56.82	cumple	cumple
P15NL4AS47CD1P0FSP	45.65	cumple	cumple	66.85	cumple	cumple
P15NL4AS47CD2P0FSP	45.18	cumple	cumple	66.04	cumple	cumple
P15NL4AS47CIP1FSP	61.13	cumple	cumple	83.57	cumple	cumple
P15NL4AS47CD1P1FSP	68.78	cumple	cumple	92.89	no cumple	cumple
P15NL4AS47CD2P1FSP	67.76	cumple	cumple	91.56	no cumple	cumple
P15NL4AS47CIP2FSP	84.07	cumple	cumple	106.37	no cumple	cumple
P15NL4AS47CD1P2FSP	91.87	no cumple	cumple	115.63	no cumple	cumple
P15NL4AS47CD2P2FSP	90.20	no cumple	cumple	114.06	no cumple	cumple

Tabla A.40. Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos, 1,500 m de tirante de agua y 3 líneas.

Modelo	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	Desplazamiento horizontal
P15NL3AS45CIP0FSP	1.57	1.62	1.64	1.69
P15NL3AS45CD1P0FSP	1.49	1.52	1.53	1.54
P15NL3AS45CD2P0FSP	1.49	1.52	1.53	1.55
P15NL3AS45CIP1FSP	1.58	1.63	1.65	1.44
P15NL3AS45CD1P1FSP	1.50	1.53	1.54	1.40
P15NL3AS45CD2P1FSP	1.50	1.53	1.54	1.40
P15NL3AS45CIP2FSP	1.58	1.63	1.64	1.34
P15NL3AS45CD1P2FSP	1.52	1.56	1.57	1.32
P15NL3AS45CD2P2FSP	1.52	1.56	1.57	1.32
P15NL3AS46CIP0FSP	1.56	1.61	1.63	1.69
P15NL3AS46CD1P0FSP	1.48	1.51	1.52	1.54
P15NL3AS46CD2P0FSP	1.48	1.51	1.52	1.54
P15NL3AS46CIP1FSP	1.58	1.63	1.65	1.45
P15NL3AS46CD1P1FSP	1.50	1.53	1.54	1.40
P15NL3AS46CD2P1FSP	1.50	1.53	1.54	1.40
P15NL3AS46CIP2FSP	1.58	1.64	1.65	1.35
P15NL3AS46CD1P2FSP	1.52	1.55	1.57	1.32
P15NL3AS46CD2P2FSP	1.52	1.56	1.57	1.33
P15NL3AS47CIP0FSP	1.55	1.60	1.62	1.70
P15NL3AS47CD1P0FSP	1.48	1.51	1.52	1.54
P15NL3AS47CD2P0FSP	1.48	1.51	1.52	1.54
P15NL3AS47CIP1FSP	1.58	1.63	1.65	1.45
P15NL3AS47CD1P1FSP	1.51	1.54	1.55	1.41
P15NL3AS47CD2P1FSP	1.51	1.54	1.55	1.41
P15NL3AS47CIP2FSP	1.59	1.65	1.66	1.36
P15NL3AS47CD1P2FSP	1.52	1.56	1.57	1.33
P15NL3AS47CD2P2FSP	1.52	1.55	1.57	1.34

Tabla A.41. Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos, 1,500 m de tirante de agua y 4 líneas.

Modelo	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	Desplazamiento horizontal
P15NL4AS45CIP0FSP	1.56	1.61	1.63	1.67
P15NL4AS45CD1P0FSP	1.51	1.55	1.56	1.58
P15NL4AS45CD2P0FSP	1.51	1.55	1.56	1.58
P15NL4AS45CIP1FSP	1.59	1.64	1.66	1.45
P15NL4AS45CD1P1FSP	1.53	1.57	1.58	1.42
P15NL4AS45CD2P1FSP	1.54	1.57	1.59	1.42
P15NL4AS45CIP2FSP	1.59	1.64	1.66	1.35
P15NL4AS45CD1P2FSP	1.55	1.59	1.60	1.33
P15NL4AS45CD2P2FSP	1.54	1.58	1.60	1.34
P15NL4AS46CIP0FSP	1.56	1.61	1.62	1.67
P15NL4AS46CD1P0FSP	1.51	1.54	1.55	1.57
P15NL4AS46CD2P0FSP	1.51	1.54	1.55	1.58
P15NL4AS46CIP1FSP	1.58	1.64	1.65	1.45
P15NL4AS46CD1P1FSP	1.53	1.57	1.58	1.42
P15NL4AS46CD2P1FSP	1.54	1.57	1.59	1.43
P15NL4AS46CIP2FSP	1.60	1.65	1.67	1.35
P15NL4AS46CD1P2FSP	1.55	1.58	1.60	1.33
P15NL4AS46CD2P2FSP	1.55	1.58	1.60	1.34
P15NL4AS47CIP0FSP	1.55	1.60	1.61	1.68
P15NL4AS47CD1P0FSP	1.50	1.53	1.54	1.57
P15NL4AS47CD2P0FSP	1.50	1.53	1.54	1.57
P15NL4AS47CIP1FSP	1.57	1.62	1.63	1.45
P15NL4AS47CD1P1FSP	1.53	1.56	1.57	1.42
P15NL4AS47CD2P1FSP	1.53	1.56	1.57	1.43
P15NL4AS47CIP2FSP	1.60	1.66	1.67	1.36
P15NL4AS47CD1P2FSP	1.55	1.59	1.60	1.34
P15NL4AS47CD2P2FSP	1.55	1.58	1.60	1.34

### A.3 Caso de estudio 3: 2,000 m de tirante de agua

Resultados correspondientes a 3 líneas por columna, ángulo de salida de 45° y pretensión asociada a una longitud 1.00L, condición intacta y condiciones dañadas. La condición dañada 1 corresponde cuando el sistema ha perdido la línea 3, y la condición dañada 2 corresponde a la pérdida de la línea 2.

#### COORDENADAS Y PROPIEDADES DE LAS LÍNEAS DE AMARRE

Tabla A.42. Coordenadas de los puntos de amarre y de anclaje del sistema de amarre, P20NL3AS45CIP0FSP.

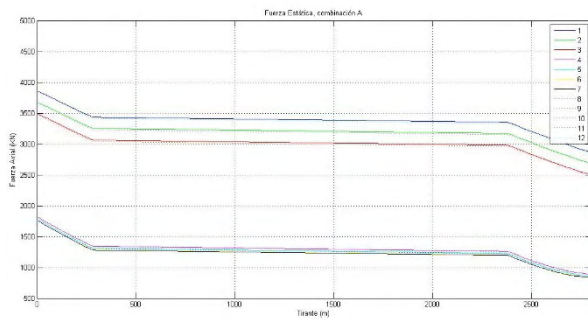
Línea	Coordenadas (m)					
	Punto de amarre			Punto de anclaje		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	45.00	35.00	-19.00	1562.50	1308.40	-2000.00
2	45.00	37.00	-19.00	1445.80	1437.80	-2000.00
3	45.00	39.00	-19.00	1318.40	1556.50	-2000.00
4	-45.00	39.00	-19.00	-1318.40	1556.50	-2000.00
5	-45.00	37.00	-19.00	-1445.80	1437.80	-2000.00
6	-45.00	35.00	-19.00	-1562.50	1308.40	-2000.00
7	-45.00	-35.00	-19.00	-1562.50	-1308.40	-2000.00
8	-45.00	-37.00	-19.00	-1445.80	-1437.80	-2000.00
9	-45.00	-39.00	-19.00	-1318.40	-1556.50	-2000.00
10	45.00	-39.00	-19.00	1318.40	-1556.50	-2000.00
11	45.00	-37.00	-19.00	1445.80	-1437.80	-2000.00
12	45.00	-35.00	-19.00	1562.50	-1308.40	-2000.00

Tabla A.43. Propiedades de las líneas de amarre, P20NL3AS45CIP0FSP.

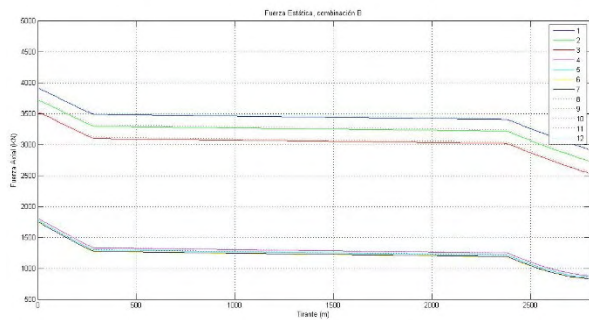
Sección	Tipo	D (m)	MBL (KN)	mpu (kg/m)	Longitud (m)	Peso (ton)
Cadena en zona de marea (cadena FC)	Studlink	0.105	10754	241.45	280.16	811.71
Fibra sintética (fibra)	Poliéster	0.185	9810	33.05	2101.17	833.38
Cadena en fondo marino (cadena SC)	Studlink	0.100	9864	219.00	420.23	1104.37

P20NL3AS45CIP0FSP

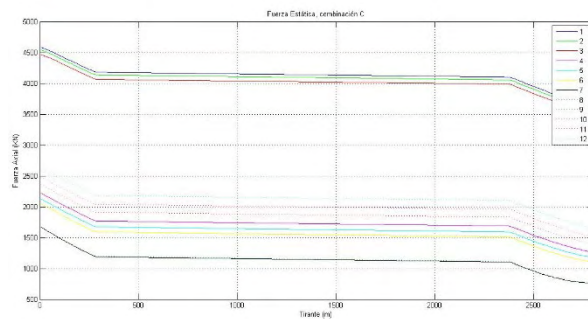
## TENSIONES ESTÁTICAS



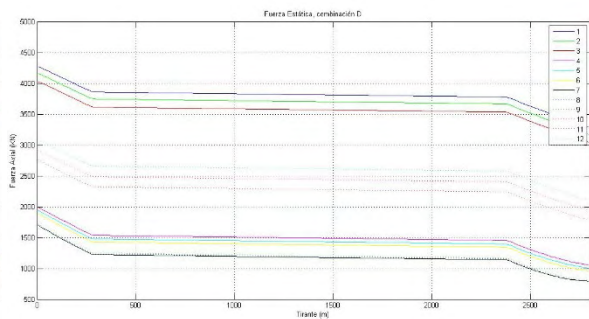
(A)



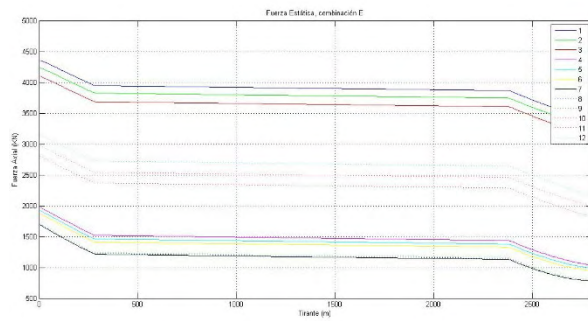
(B)



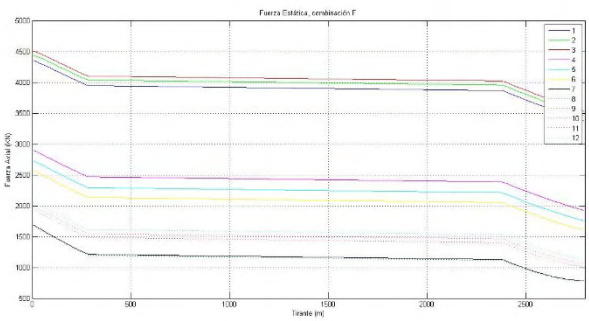
(C)



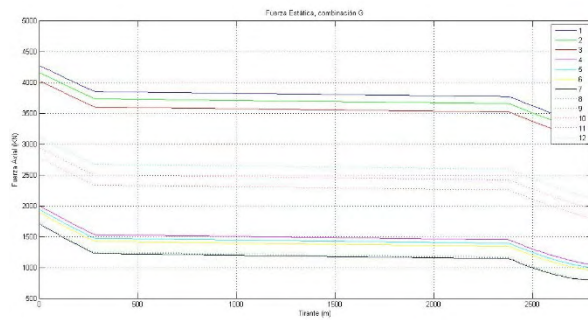
(D)



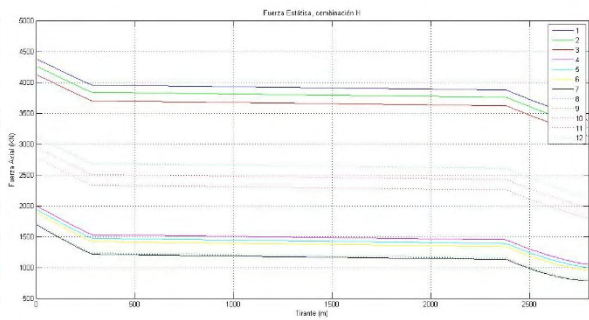
(E)



(F)



(G)



(H)

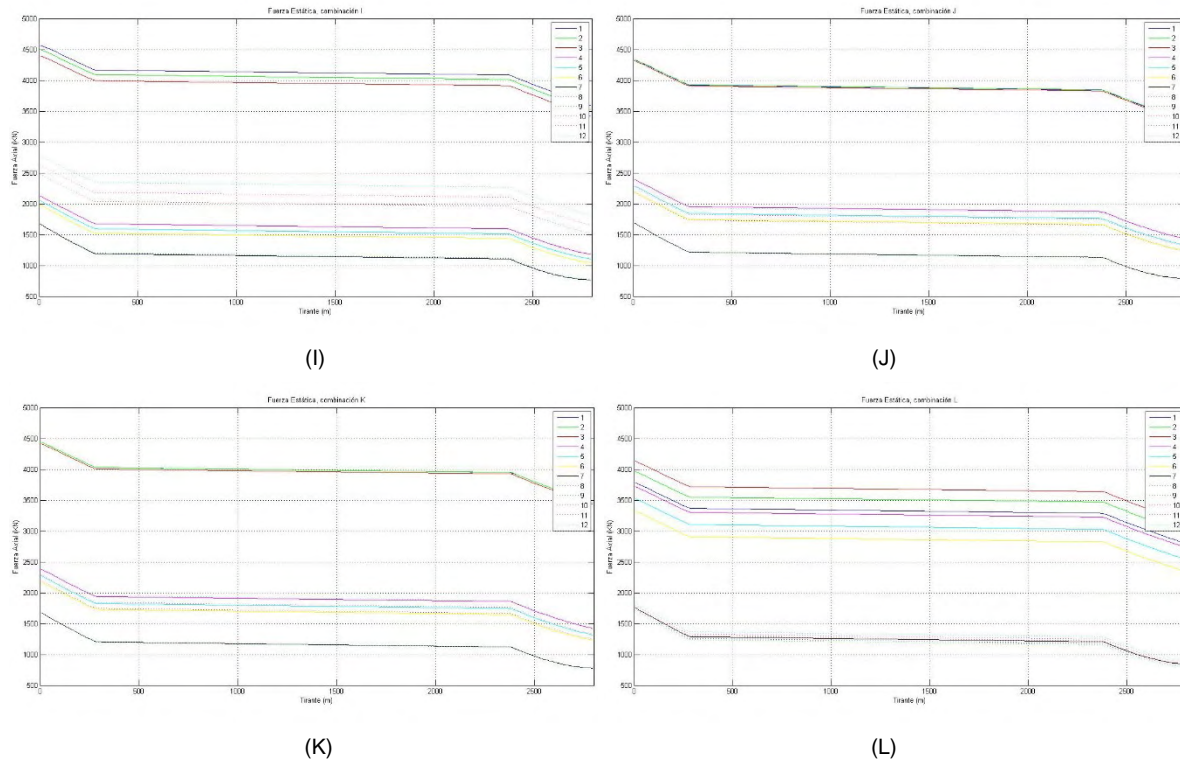
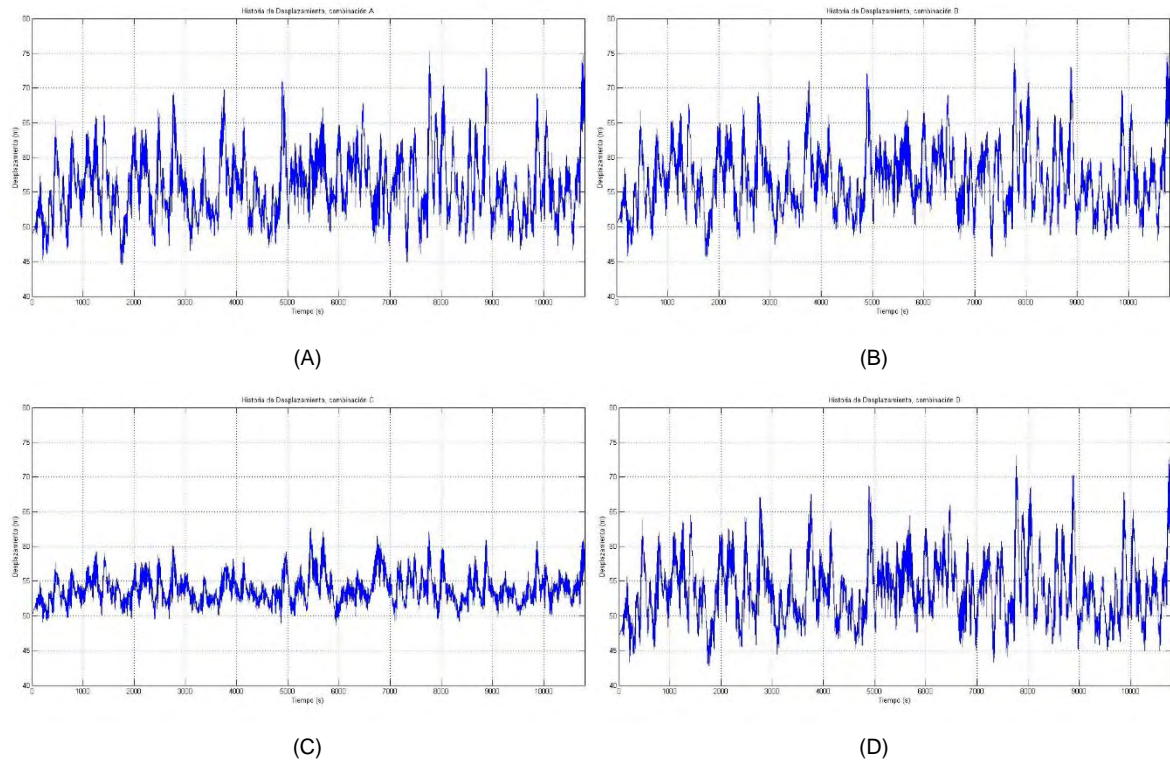


Figura A.26. Fuerzas axiales estáticas, P20NL3AS45CIP0FSP.

## HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS DINÁMICOS





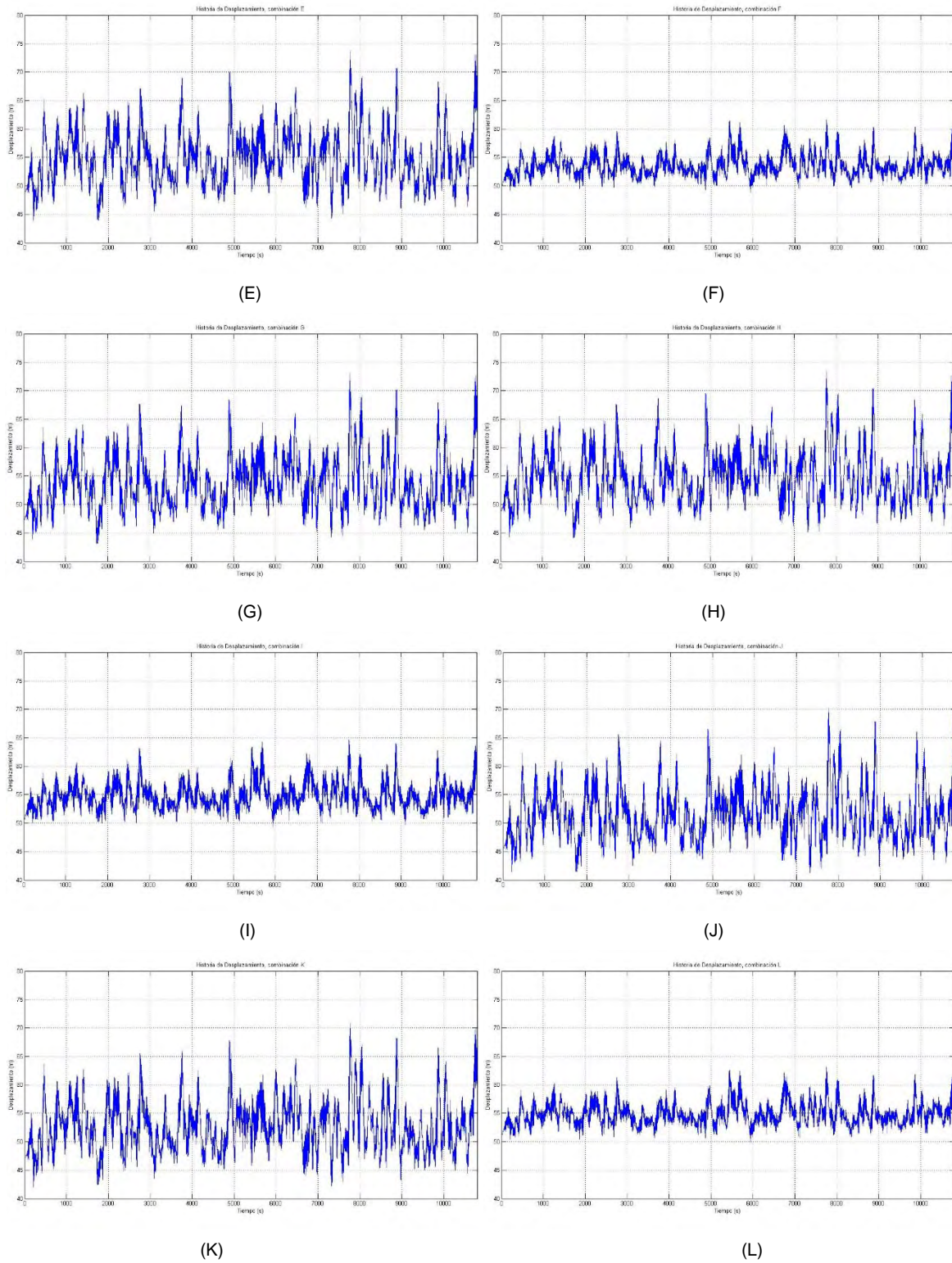
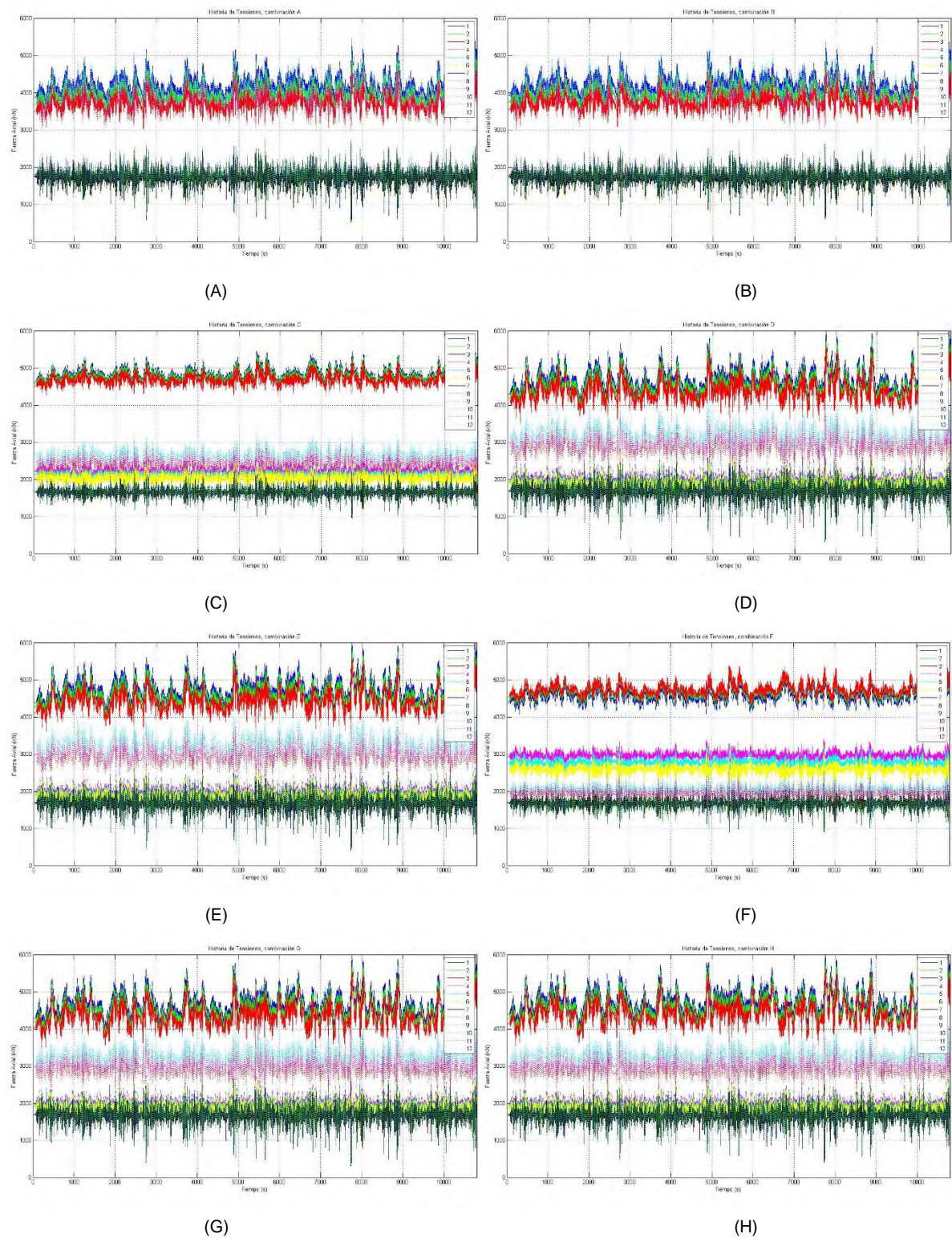


Figura A.27. Historia de Desplazamientos, P20NL3AS45CIP0FSP.

HISTORIA DE TENSIONES





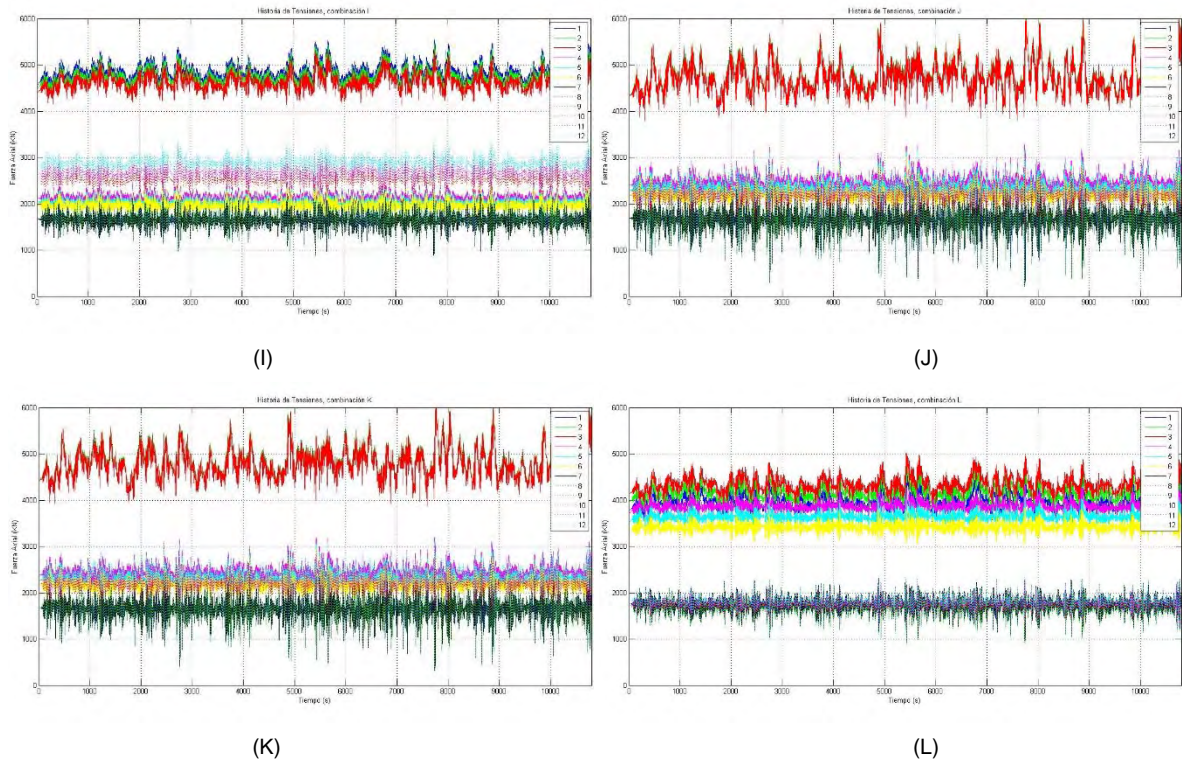
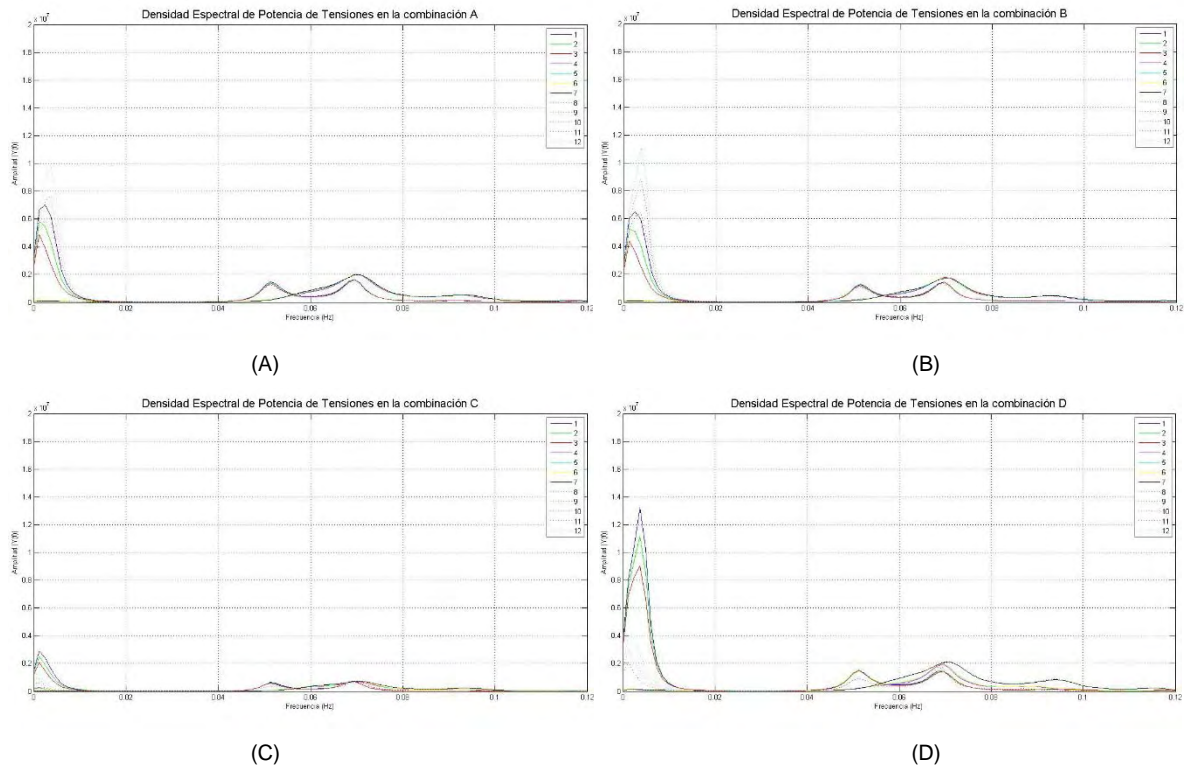


Figura A.28. Historia de tensiones dinámicas, P20NL3AS45CIP0FSP.

## DISEÑO ESPECTRAL DE POTENCIA DE TENSIONES



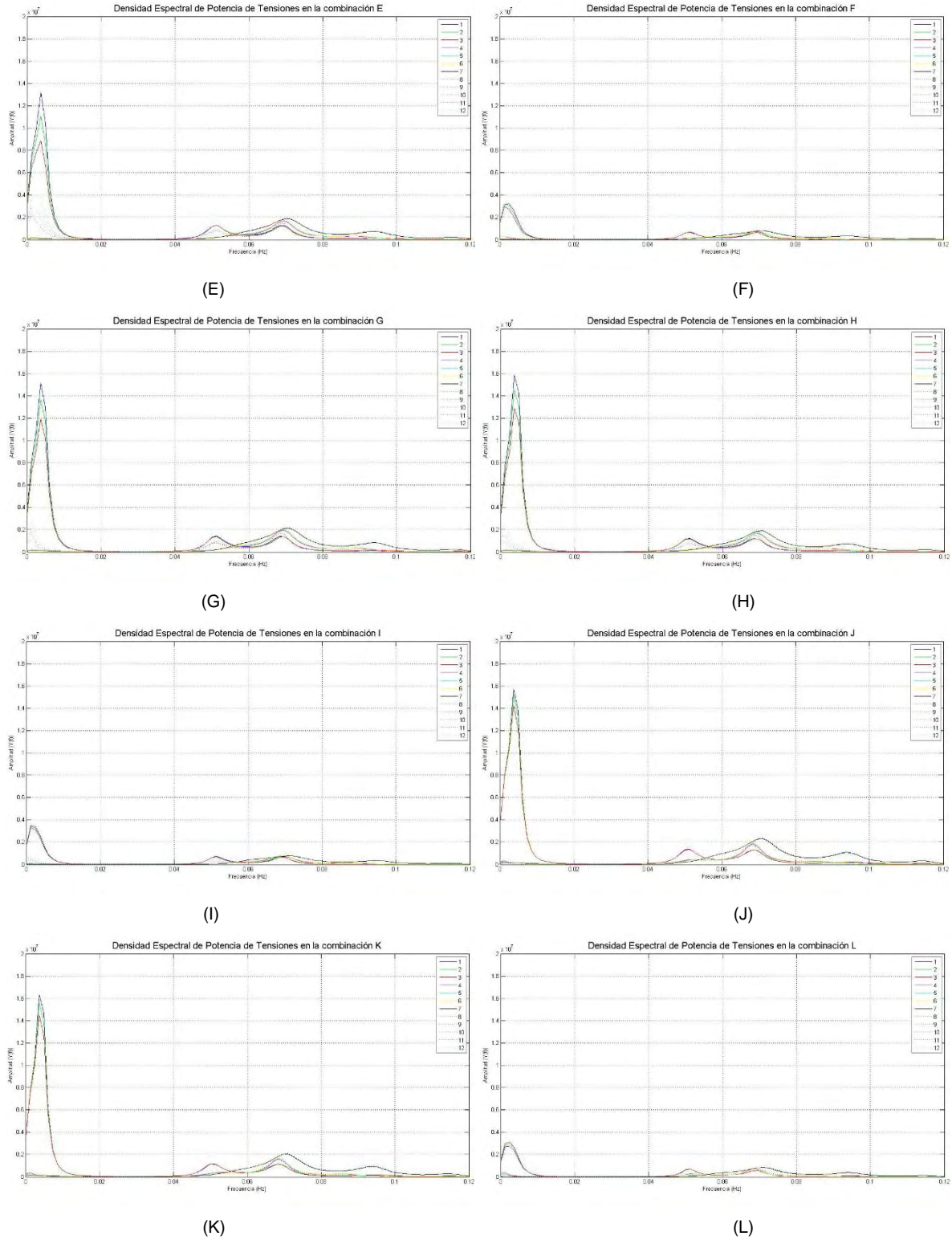


Figura A.29. Diseño espectral de potencia de tensiones, P20NL3AS45CIP0FSP.

Tabla A.44. Tensiones y desplazamientos estáticos, P20NL3AS45CIP0FSP.

Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
1	3847.90	3899.00	<b>4580.10</b>	4266.80	4353.70	4351.20	4260.20	4365.60	4567.20	4332.90	4437.90	3784.20
2	3669.40	3711.20	4535.60	4156.00	4234.70	4439.80	4146.90	4250.20	4494.80	4336.50	4437.50	3963.70
3	3483.00	3515.40	4465.10	4025.40	4095.20	4503.70	4014.20	4114.00	4397.10	4316.20	4412.30	4129.10
4	1806.70	1793.30	2215.60	1991.40	1974.90	2896.40	1987.50	1987.50	2126.90	2395.10	2380.50	3715.90
5	1775.40	1762.50	2123.70	1935.00	1918.80	2725.60	1932.30	1930.50	2047.60	2288.00	2271.80	3521.90
6	1748.90	1736.30	2044.90	1886.50	1870.70	2570.90	1885.00	1881.70	1980.10	2194.40	2177.40	3325.10
7	1749.10	1742.10	1667.10	1696.80	1687.20	1688.00	1696.30	1684.60	1667.90	1688.50	1677.30	1755.20
8	1775.00	1768.60	1670.80	1708.70	1699.60	1678.20	1708.30	1696.30	1674.00	1687.40	1676.60	1730.90
9	1805.50	1799.80	1677.10	1723.60	1715.00	1671.20	1723.50	1711.10	1682.80	1688.80	1678.40	1710.50
10	3467.00	3543.20	2356.30	2758.00	2802.40	1944.20	2768.30	2768.40	2478.70	2184.50	2196.20	1769.20
11	3654.20	3738.60	2480.50	2917.70	2972.30	2002.10	2928.80	2935.10	2621.00	2273.40	2290.00	1799.20
12	3834.10	3925.70	2621.60	3087.10	3152.10	2069.60	3098.80	3112.50	2779.70	2374.90	2397.40	1834.50
Fibra sintética poliéster (fibra)												
1	3433.90	3485.50	<b>4180.10</b>	3858.10	3945.60	3945.50	3848.80	3955.10	4166.20	3923.60	4029.40	3367.50
2	3252.90	3295.20	4135.60	3746.20	3825.50	4035.90	3733.90	3838.00	4092.30	3927.70	4029.50	3550.10
3	3063.80	3096.60	4064.60	3614.10	3684.50	4101.40	3599.20	3700.00	3992.70	3907.60	4004.40	3718.40
4	1344.10	1330.10	1768.90	1537.20	1520.10	2467.90	1531.30	1531.30	1676.10	1953.50	1938.60	3303.90
5	1311.00	1297.40	1674.00	1478.60	1461.80	2293.00	1473.70	1471.80	1593.70	1843.40	1826.80	3106.50
6	1282.80	1269.60	1592.60	1428.10	1411.70	2134.40	1424.00	1420.50	1523.10	1746.90	1729.50	2905.90
7	1280.10	1272.70	1188.50	1224.20	1214.10	1213.30	1225.30	1213.10	1190.00	1216.10	1204.40	1288.00
8	1307.50	1300.80	1192.20	1236.70	1227.10	1202.30	1238.40	1225.80	1196.90	1214.70	1203.30	1261.60
9	1339.70	1333.90	1198.60	1252.40	1243.40	1194.20	1254.80	1241.80	1206.80	1215.90	1205.00	1239.40
10	3043.40	3120.50	1912.70	2323.00	2368.20	1485.40	2335.80	2335.90	2039.60	1735.90	1747.90	1299.00
11	3233.20	3318.50	2040.00	2485.40	2540.80	1546.10	2499.70	2506.10	2185.60	1827.50	1844.50	1331.20
12	3415.60	3508.00	2184.10	2657.60	2723.40	1616.60	2672.90	2686.80	2348.20	1931.80	1954.80	1368.90
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
1	3344.70	3396.40	<b>4091.30</b>	3769.10	3856.70	3856.60	3759.80	3866.20	4077.50	3834.70	3940.60	3278.30
2	3163.60	3205.90	4046.80	3657.20	3736.60	3947.10	3644.90	3749.10	4003.50	3838.80	3940.70	3461.00
3	2974.40	3007.20	3975.80	3525.10	3595.50	4012.60	3510.10	3610.90	3903.90	3818.70	3915.50	3629.40
4	1251.40	1237.40	1677.70	1445.30	1428.20	2377.90	1439.40	1439.50	1584.70	1862.80	1847.80	3214.60
5	1218.20	1204.50	1582.60	1386.60	1369.70	2202.80	1381.60	1379.60	1502.00	1752.40	1735.80	3017.10
6	1189.80	1176.60	1501.00	1335.90	1319.40	2044.00	1331.70	1328.20	1431.20	1655.70	1638.20	2816.30
7	1187.00	1179.60	1094.90	1130.90	1120.70	1119.90	1132.00	1119.70	1096.40	1122.80	1110.90	1195.00
8	1214.70	1207.90	1098.60	1143.40	1133.80	1108.80	1145.20	1132.50	1103.40	1121.30	1109.90	1168.50
9	1247.00	1241.10	1105.10	1159.20	1150.20	1100.60	1161.60	1148.60	1113.40	1122.60	1111.60	1146.20
10	2954.00	3031.10	1821.90	2232.80	2278.10	1393.40	2245.70	2245.80	1949.00	1644.70	1656.70	1206.10
11	3143.90	3229.30	1949.40	2395.40	2450.90	1454.30	2409.80	2416.20	2095.30	1736.50	1753.60	1238.50
12	3326.40	3418.90	2093.70	2567.80	2633.70	1525.00	2583.10	2597.00	2258.10	1841.00	1864.10	1276.40
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	49.07	50.57	50.17	47.27	48.88	49.93	47.29	48.78	50.57	45.57	47.08	<b>51.07</b>

Tabla A.45. Tensiones y desplazamientos dinámicos, P20NL3AS45CIP0FSP.

Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
1	5435.50	5363.20	5458.00	6081.70	6029.80	5260.20	6058.50	6032.90	5559.10	6085.70	6101.30	4641.40
2	5169.60	5088.70	5385.00	5922.60	5865.80	5338.70	5891.60	5869.20	5459.80	6099.10	<b>6104.10</b>	4838.90
3	4890.80	4809.20	5281.90	5733.20	5671.80	5388.80	5695.20	5675.80	5329.60	6077.60	6065.80	5017.40
4	2824.40	2743.80	2685.70	2915.50	2835.20	3384.40	2866.30	2794.40	2633.60	3274.10	3191.20	4316.10
5	2789.30	2711.00	2597.70	2857.30	2780.60	3198.30	2813.40	2744.10	2554.10	3153.80	3073.20	4069.40
6	2757.90	2681.50	2524.60	2816.20	2732.80	3036.30	2774.90	2700.20	2485.60	3055.00	2978.30	3834.70
7	2738.90	2664.90	2199.30	2741.50	2659.90	2249.50	2749.20	2667.70	2213.30	2801.50	2723.70	2306.70
8	2765.70	2688.90	2207.70	2762.10	2681.40	2248.10	2773.30	2693.70	2224.70	2815.20	2735.70	2293.80
9	2794.80	2715.80	2219.40	2784.20	2705.60	2248.60	2798.20	2720.70	2241.40	2834.20	2752.40	2286.90
10	4844.40	4825.20	3052.80	3715.60	3692.40	2515.30	3756.90	3677.50	3015.30	2974.30	2922.60	2275.20
11	5124.20	5103.80	3193.60	3940.90	3920.20	2580.00	3967.40	3886.20	3184.60	3058.50	3014.30	2308.30
12	5392.70	5371.00	3358.50	4183.30	4176.60	2653.30	4224.20	4144.80	3379.40	3161.50	3123.00	2350.70
Fibra sintética poliéster (fibra)												
1	4937.50	4911.50	5077.60	5609.60	5617.30	4872.00	5582.70	5624.70	5152.80	5665.00	5712.20	4213.40
2	4641.00	4611.70	4994.30	5425.70	5426.30	4949.80	5395.80	5440.50	5053.90	5674.90	<b>5715.60</b>	4419.40
3	4329.70	4296.00	4881.30	5208.20	5199.10	4996.60	5176.80	5219.60	4922.80	5643.90	5677.50	4604.00
4	1845.40	1809.70	2124.50	2063.20	2016.80	2923.20	2023.50	1994.80	2036.50	2582.70	2536.00	3915.40
5	1800.70	1766.40	2014.60	1988.00	1946.60	2729.80	1950.90	1921.90	1934.70	2440.30	2394.60	3661.60
6	1761.20	1728.00	1920.90	1923.70	1884.50	2552.80	1888.00	1857.20	1851.20	2314.40	2271.30	3408.30
7	1727.10	1697.40	1466.40	1696.00	1664.90	1501.60	1710.10	1677.60	1463.70	1719.10	1685.20	1588.30
8	1762.90	1731.50	1471.50	1711.50	1681.00	1490.30	1730.60	1696.80	1473.90	1719.20	1685.80	1561.40
9	1806.00	1774.50	1480.20	1732.70	1701.20	1483.50	1755.10	1720.50	1489.30	1723.90	1689.50	1539.10
10	4229.30	4254.90	2444.10	3055.30	3070.80	1854.20	3117.70	3070.40	2524.10	2231.00	2215.40	1583.40
11	4546.50	4573.20	2613.00	3330.60	3353.40	1932.70	3350.50	3305.30	2703.30	2338.40	2327.90	1623.40
12	4850.30	4877.90	2805.10	3628.10	3658.50	2026.10	3633.70	3582.00	2920.50	2461.80	2463.00	1674.60
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
1	4890.70	4862.30	5010.90	5558.40	5555.60	4806.40	5533.00	5558.10	5083.50	5591.90	5636.90	4147.60
2	4593.10	4561.70	4928.90	5373.30	5366.10	4885.00	5345.70	5374.20	4984.80	5601.90	<b>5640.20</b>	4353.70
3	4281.20	4244.80	4817.10	5157.30	5143.50	4931.90	5127.50	5159.60	4854.60	5570.80	5601.90	4538.30
4	1796.60	1759.60	2059.60	2016.30	1970.40	2860.10	1972.80	1942.40	1973.00	2540.50	2491.00	3851.00
5	1748.90	1713.50	1953.30	1939.50	1896.30	2667.30	1897.50	1865.40	1873.40	2394.20	2347.20	3596.70
6	1710.20	1673.50	1861.20	1874.10	1830.80	2489.30	1834.80	1801.90	1788.80	2269.00	2222.80	3343.30
7	1675.10	1643.40	1392.60	1643.30	1611.30	1431.70	1657.70	1624.40	1391.20	1672.00	1636.40	1525.80
8	1708.80	1674.00	1398.00	1660.70	1627.70	1420.30	1680.10	1644.70	1403.00	1673.30	1637.40	1497.60
9	1752.40	1719.30	1407.00	1683.60	1649.80	1412.30	1707.60	1670.60	1417.40	1678.20	1642.10	1474.50
10	4185.20	4208.60	2383.20	3007.30	3021.30	1784.50	3074.00	3024.60	2462.70	2182.70	2166.40	1509.70
11	4502.10	4526.30	2552.30	3286.30	3306.80	1865.50	3306.20	3256.50	2644.00	2291.00	2277.40	1551.00
12	4806.10	4831.60	2742.90	3582.00	3608.20	1959.80	3587.80	3535.60	2861.00	2415.60	2410.10	1601.70
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	75.32	<b>75.70</b>	62.61	73.08	73.64	61.57	73.10	73.51	64.68	70.19	70.77	63.16

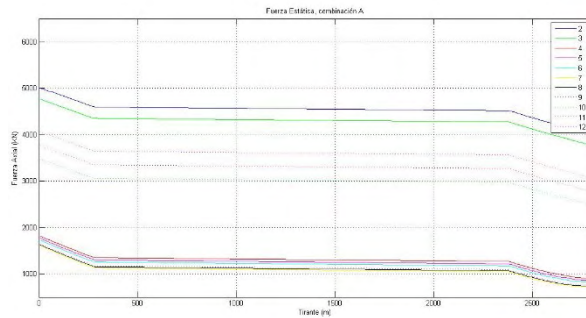


Tabla A.46. Relaciones dinámicos-estáticos, P20NL3AS45CIP0FSP.

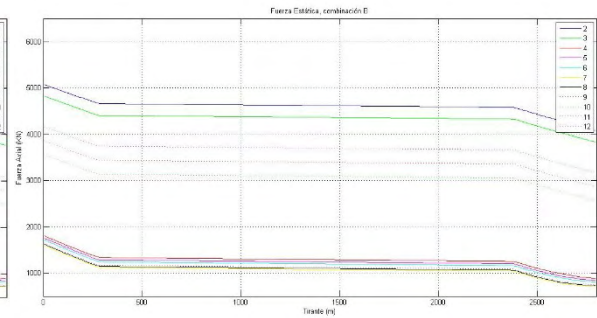
Sección	Línea	Combinación											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena FC	1	1.41	1.38	1.19	1.43	1.38	1.21	1.42	1.38	1.22	<b>1.40</b>	1.37	1.23
	2	1.41	1.37	1.19	1.43	1.39	1.20	1.42	1.38	1.21	1.41	1.38	1.22
	3	1.40	1.37	1.18	1.42	1.38	1.20	1.42	1.38	1.21	1.41	1.37	1.22
	4	1.56	1.53	1.21	1.46	1.44	1.17	1.44	1.41	1.24	1.37	1.34	1.16
	5	1.57	1.54	1.22	1.48	1.45	1.17	1.46	1.42	1.25	1.38	1.35	1.16
	6	1.58	1.54	1.23	1.49	1.46	1.18	1.47	1.43	1.26	1.39	1.37	1.15
	7	1.57	1.53	1.32	1.62	1.58	1.33	1.62	1.58	1.33	1.66	1.62	1.31
	8	1.56	1.52	1.32	1.62	1.58	1.34	1.62	1.59	1.33	1.67	1.63	1.33
	9	1.55	1.51	1.32	1.62	1.58	1.35	1.62	1.59	1.33	1.68	1.64	1.34
	10	1.40	1.36	1.30	1.35	1.32	1.29	1.36	1.33	1.22	1.36	1.33	1.29
	11	1.40	1.37	1.29	1.35	1.32	1.29	1.35	1.32	1.22	1.35	1.32	1.28
	12	1.41	1.37	1.28	1.36	1.33	1.28	1.36	1.33	1.22	1.33	1.30	1.28
Fibra	1	1.44	1.41	1.21	1.45	1.42	1.23	1.45	1.42	1.24	<b>1.44</b>	1.42	1.25
	2	1.43	1.40	1.21	1.45	1.42	1.23	1.45	1.42	1.23	1.44	1.42	1.24
	3	1.41	1.39	1.20	1.44	1.41	1.22	1.44	1.41	1.23	1.44	1.42	1.24
	4	1.37	1.36	1.20	1.34	1.33	1.18	1.32	1.30	1.22	1.32	1.31	1.19
	5	1.37	1.36	1.20	1.34	1.33	1.19	1.32	1.31	1.21	1.32	1.31	1.18
	6	1.37	1.36	1.21	1.35	1.33	1.20	1.33	1.31	1.22	1.32	1.31	1.17
	7	1.35	1.33	1.23	1.39	1.37	1.24	1.40	1.38	1.23	1.41	1.40	1.23
	8	1.35	1.33	1.23	1.38	1.37	1.24	1.40	1.38	1.23	1.42	1.40	1.24
	9	1.35	1.33	1.23	1.38	1.37	1.24	1.40	1.39	1.23	1.42	1.40	1.24
	10	1.39	1.36	1.28	1.32	1.30	1.25	1.33	1.31	1.24	1.29	1.27	1.22
	11	1.41	1.38	1.28	1.34	1.32	1.25	1.34	1.32	1.24	1.28	1.26	1.22
	12	1.42	1.39	1.28	1.37	1.34	1.25	1.36	1.33	1.24	1.27	1.26	1.22
Cadena SC	1	1.46	1.43	1.22	1.47	1.44	1.25	1.47	1.44	1.25	<b>1.46</b>	1.43	1.27
	2	1.45	1.42	1.22	1.47	1.44	1.24	1.47	1.43	1.25	1.46	1.43	1.26
	3	1.44	1.41	1.21	1.46	1.43	1.23	1.46	1.43	1.24	1.46	1.43	1.25
	4	1.44	1.42	1.23	1.40	1.38	1.20	1.37	1.35	1.25	1.36	1.35	1.20
	5	1.44	1.42	1.23	1.40	1.38	1.21	1.37	1.35	1.25	1.37	1.35	1.19
	6	1.44	1.42	1.24	1.40	1.39	1.22	1.38	1.36	1.25	1.37	1.36	1.19
	7	1.41	1.39	1.27	1.45	1.44	1.28	1.46	1.45	1.27	1.49	1.47	1.28
	8	1.41	1.39	1.27	1.45	1.44	1.28	1.47	1.45	1.27	1.49	1.48	1.28
	9	1.41	1.39	1.27	1.45	1.43	1.28	1.47	1.45	1.27	1.49	1.48	1.29
	10	1.42	1.39	1.31	1.35	1.33	1.28	1.37	1.35	1.26	1.33	1.31	1.25
	11	1.43	1.40	1.31	1.37	1.35	1.28	1.37	1.35	1.26	1.32	1.30	1.25
	12	1.44	1.41	1.31	1.39	1.37	1.29	1.39	1.36	1.27	1.31	1.29	1.25
Desplazamiento lateral (m)													
SEMI		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		1.53	1.50	1.25	1.55	1.51	1.23	1.55	1.51	1.28	<b>1.54</b>	1.50	1.24

P20NL4AS45CD1P0FSP

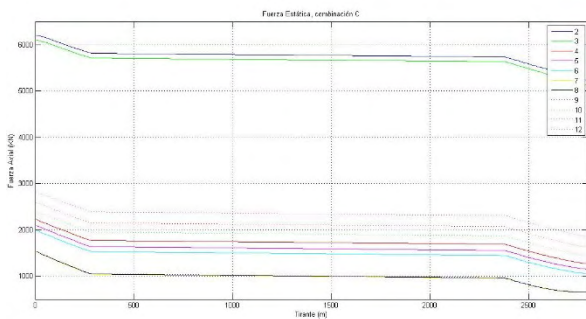
## TENSIONES ESTÁTICAS



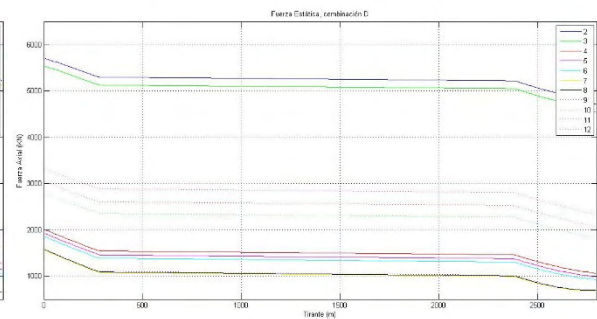
(A)



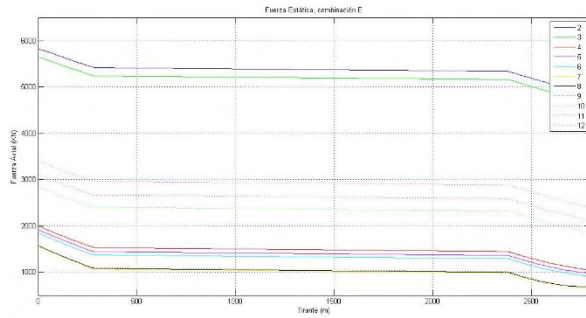
(B)



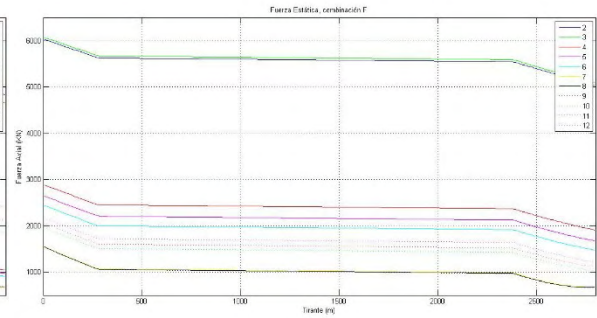
(C)



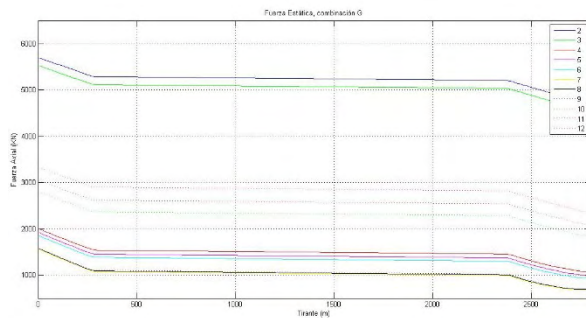
(D)



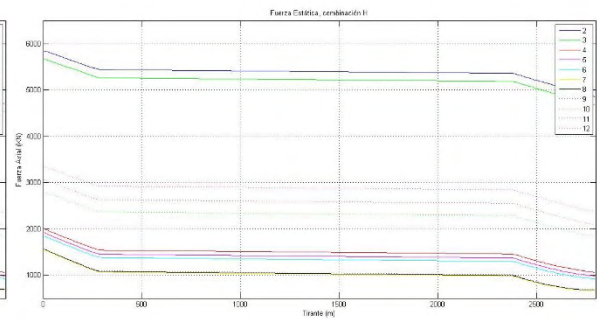
(E)



(F)



(G)



(H)

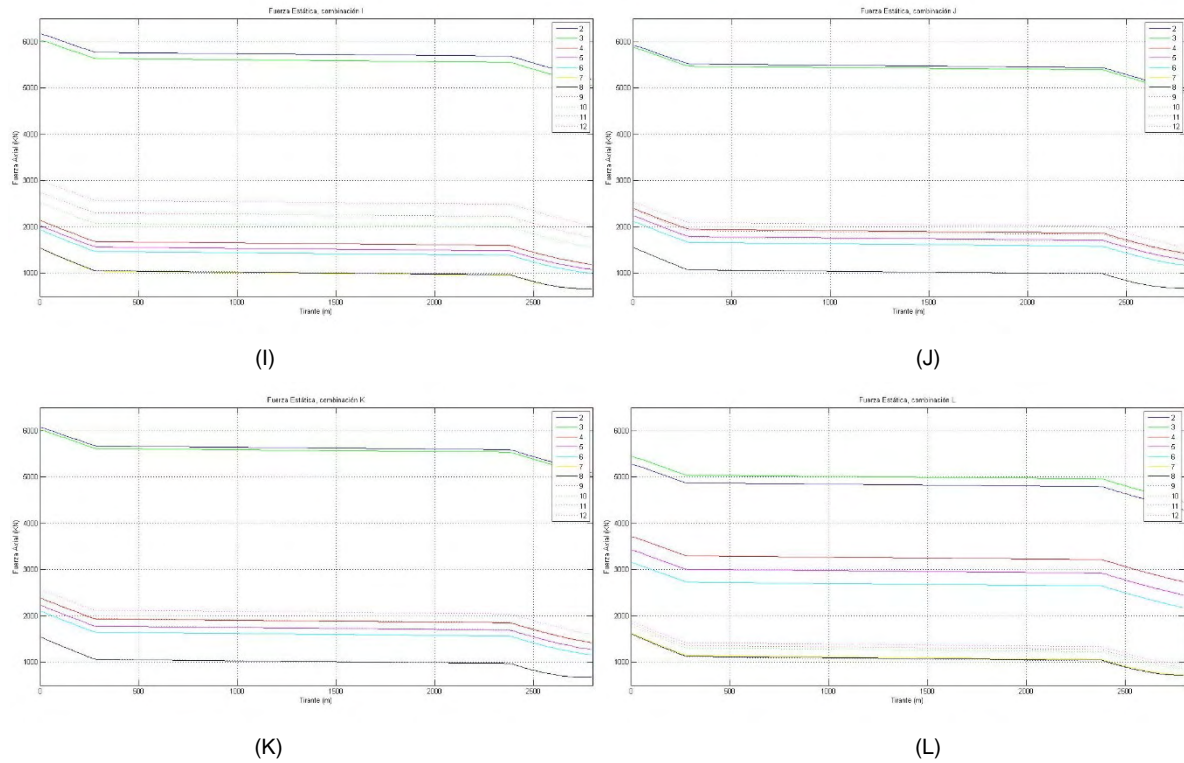
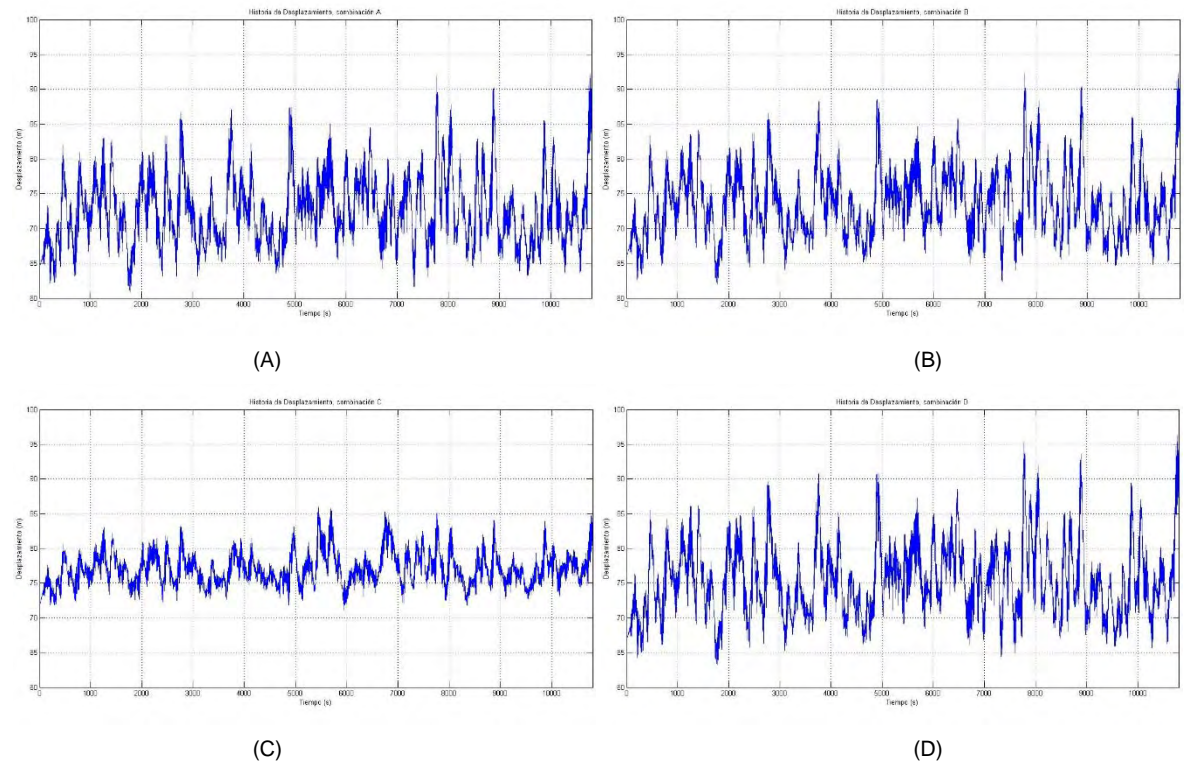


Figura A.30. Fuerzas axiales estáticas, P20NL3AS45CD1P0FSP.

## HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS DINÁMICOS





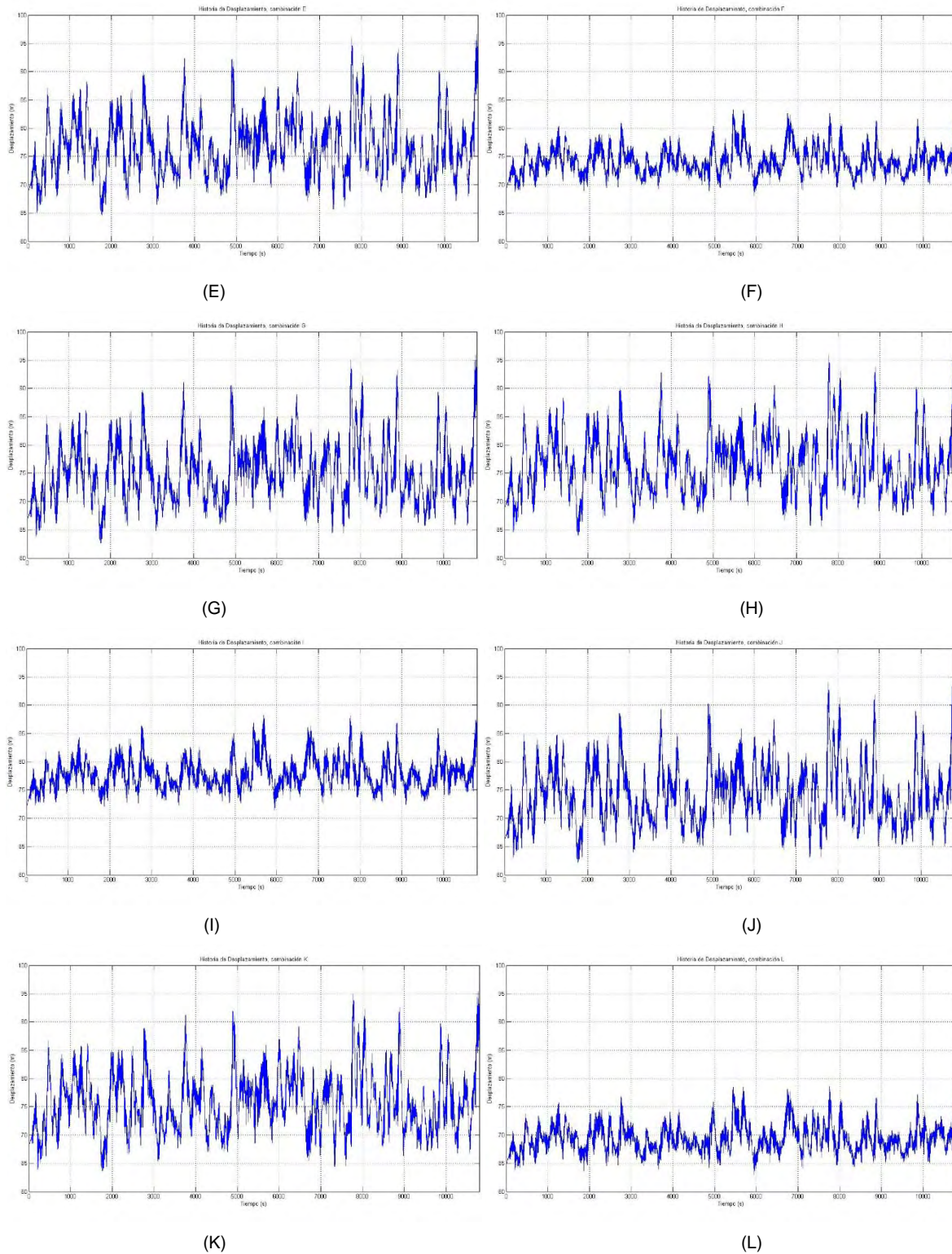
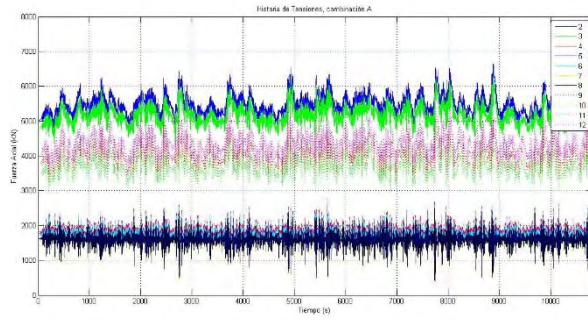
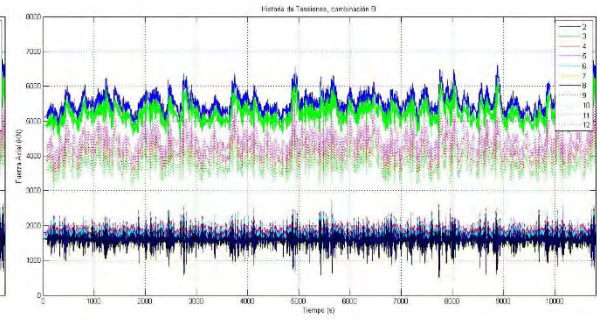


Figura A.31. Historia de Desplazamientos, P20NL3AS45CD1P0FSP.

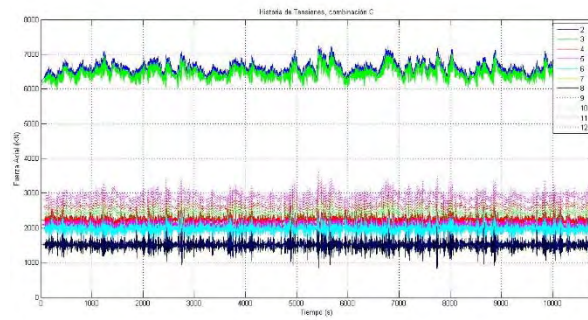
# HISTORIA DE TENSIONES



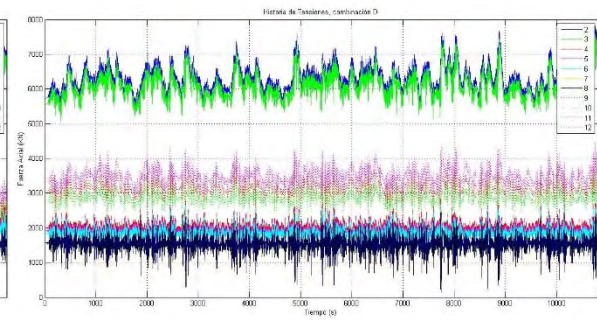
(A)



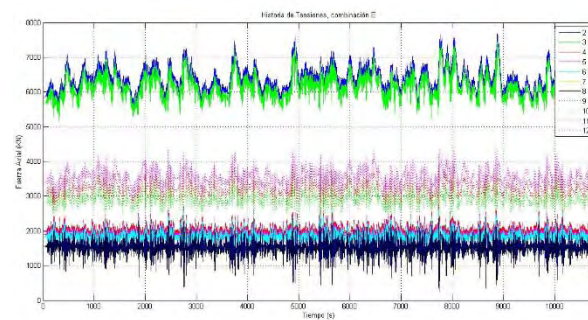
(B)



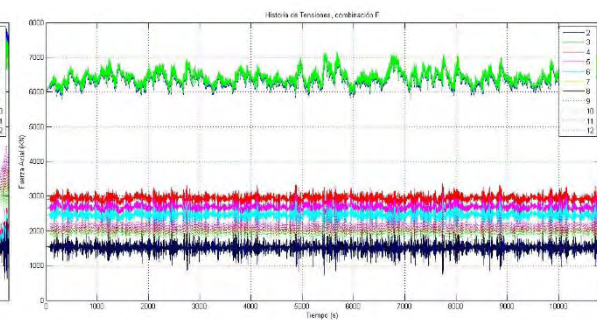
(C)



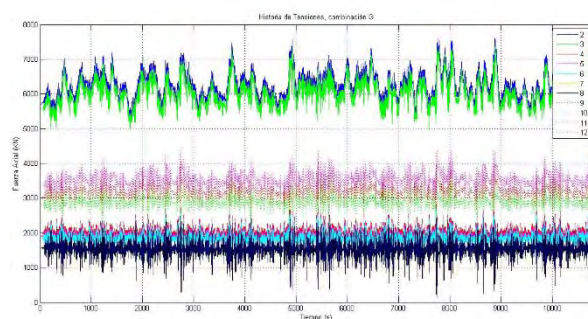
(D)



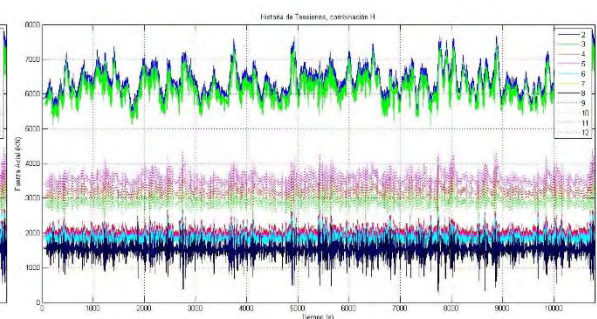
(E)



(F)



(G)



(H)



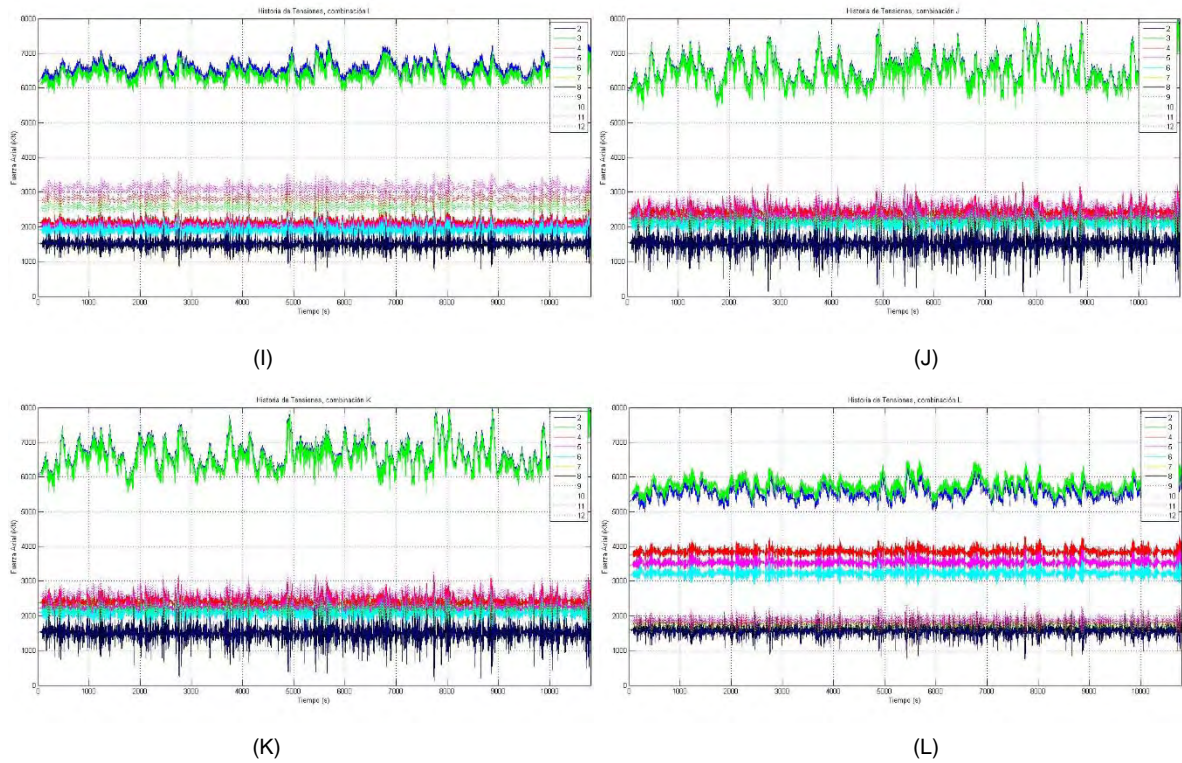
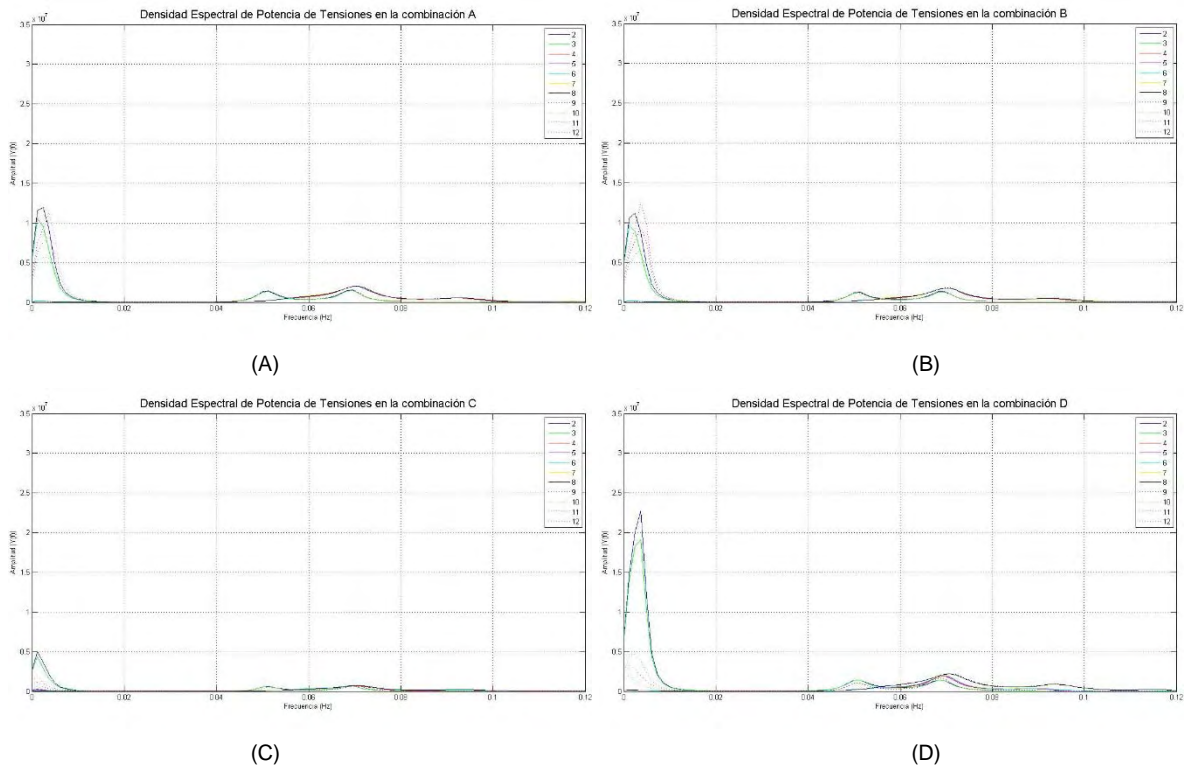


Figura A.32. Historia de tensiones dinámicas, P20NL3AS45CD1P0FSP.

## DISEÑO ESPECTRAL DE POTENCIA DE TENSIONES





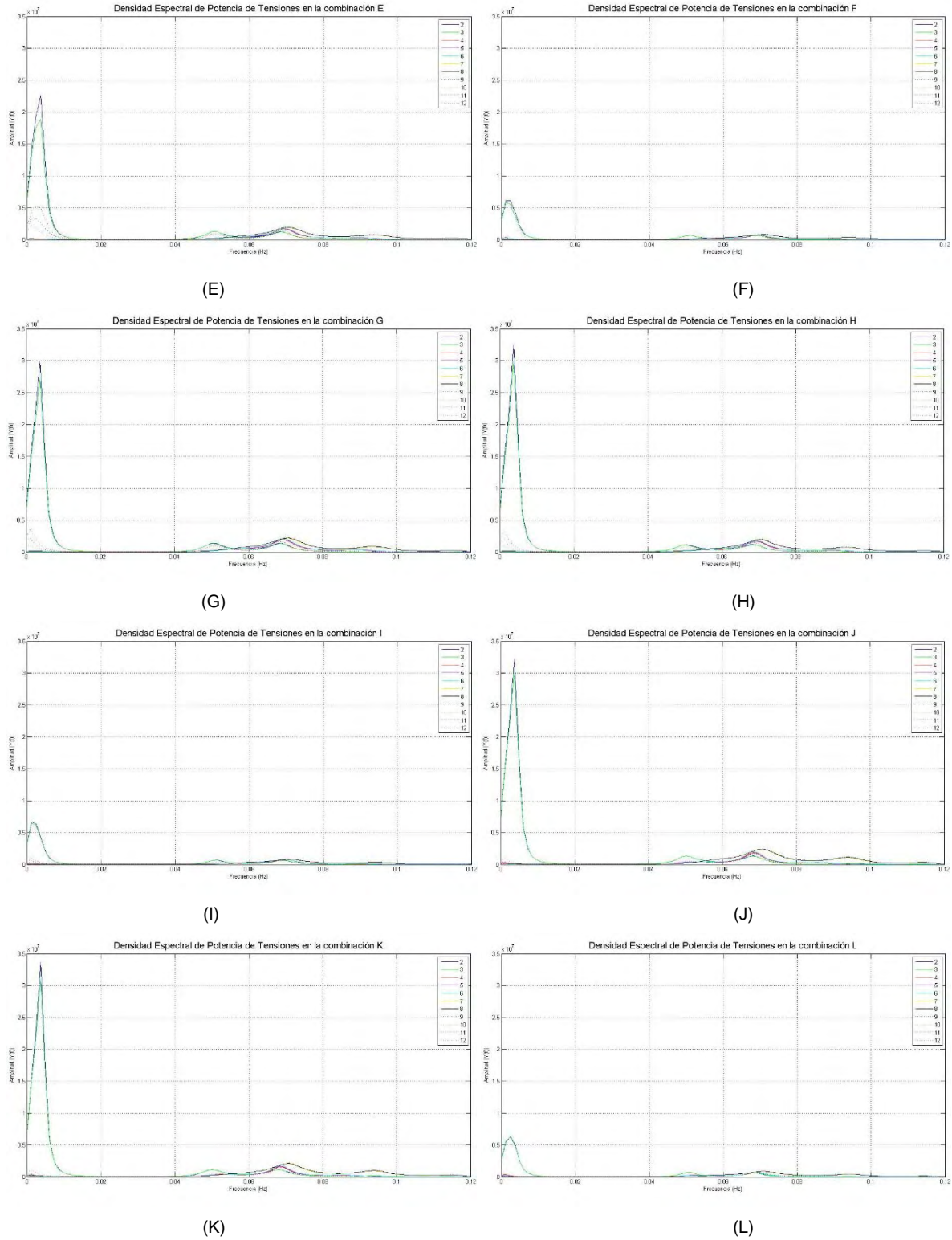


Figura A.33. Diseño espectral de potencia de tensiones, P20NL3AS45CD1P0FSP.

Tabla A.47. Tensiones y desplazamientos estáticos, P20NL3AS45CD1P0FSP.

Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
2	5002.80	5068.30	<b>6204.70</b>	5700.10	5817.70	6019.90	5691.10	5842.70	6161.80	5919.70	6068.30	5276.50
3	4761.20	4816.60	6102.40	5531.50	5640.00	6062.90	5520.20	5668.90	6030.60	5871.40	6014.00	5442.70
4	1814.50	1801.20	2218.60	1999.40	1983.60	2881.70	1995.80	1996.40	2133.10	2389.80	2376.00	3708.90
5	1766.50	1754.00	2089.10	1916.80	1901.60	2641.90	1914.60	1912.80	2020.10	2237.90	2222.50	3422.60
6	1726.20	1714.40	1984.50	1848.60	1834.20	2440.40	1847.60	1844.10	1928.90	2113.60	2097.60	3149.40
7	1610.10	1603.70	1527.90	1559.50	1549.10	1551.50	1558.90	1546.30	1528.50	1550.80	1538.40	1619.90
8	1628.80	1623.00	1531.80	1569.20	1559.90	1543.80	1568.60	1556.70	1534.20	1550.60	1538.50	1602.50
9	1649.90	1644.90	1538.80	1582.30	1573.30	1539.50	1581.80	1569.50	1543.30	1553.70	1541.90	1588.20
10	3482.90	3559.10	2395.80	2791.40	2836.40	1968.90	2800.30	2801.80	2518.10	2219.30	2232.60	1779.40
11	3771.80	3859.30	2590.30	3039.00	3098.30	2060.70	3049.20	3059.40	2739.10	2361.50	2382.40	1826.80
12	4062.70	4160.00	2823.90	3314.60	3388.80	2172.80	3325.60	3346.60	2999.00	2533.30	2564.30	1883.30
Fibra sintética poliéster (fibra)												
2	4597.10	4663.10	<b>5815.30</b>	5300.60	5418.80	5626.10	5288.00	5440.40	5769.80	5520.80	5670.10	4872.40
3	4353.30	4409.00	5712.60	5130.90	5239.90	5670.50	5115.40	5264.80	5636.80	5472.60	5615.90	5041.10
4	1352.30	1338.40	1772.10	1545.40	1529.10	2453.20	1539.90	1540.60	1682.50	1948.10	1934.00	3297.00
5	1301.70	1288.60	1638.40	1459.70	1444.00	2207.90	1455.30	1453.40	1565.30	1792.00	1776.10	3006.00
6	1259.10	1246.60	1530.10	1388.70	1373.60	2001.10	1385.20	1381.50	1470.20	1663.80	1647.30	2727.90
7	1134.30	1127.60	1042.80	1080.00	1069.00	1070.10	1080.80	1067.50	1043.90	1071.40	1058.20	1146.00
8	1154.40	1148.30	1046.50	1090.30	1080.50	1061.30	1091.50	1078.80	1050.50	1070.90	1058.20	1126.90
9	1177.00	1171.80	1053.90	1104.20	1094.70	1056.10	1105.90	1092.80	1060.60	1073.90	1061.50	1110.90
10	3059.50	3136.60	1953.20	2356.90	2402.70	1511.00	2368.50	2370.00	2080.00	1771.70	1785.40	1309.70
11	3352.10	3440.40	2152.10	2608.60	2668.70	1606.60	2622.00	2632.40	2306.00	1917.80	1939.30	1360.00
12	3646.30	3744.40	2389.90	2888.10	2963.20	1723.00	2902.80	2924.10	2571.20	2093.70	2125.40	1419.60
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
2	4508.50	4574.50	<b>5727.20</b>	5212.20	5330.50	5537.90	5199.70	5352.10	5681.70	5432.50	5581.90	4783.90
3	4264.60	4320.30	5624.50	5042.50	5151.60	5582.30	5027.00	5176.50	5548.60	5384.40	5527.70	4952.60
4	1259.60	1245.70	1680.90	1453.60	1437.30	2363.10	1448.10	1448.70	1591.10	1857.30	1843.20	3207.70
5	1208.90	1195.70	1546.90	1367.60	1351.80	2117.60	1363.20	1361.30	1473.60	1700.90	1685.00	2916.60
6	1166.00	1153.50	1438.20	1296.30	1281.10	1910.50	1292.80	1289.00	1378.10	1572.40	1555.90	2638.20
7	1040.40	1033.60	948.13	985.66	974.63	975.69	986.45	973.06	949.32	976.98	963.78	1052.20
8	1060.60	1054.50	951.95	996.03	986.17	966.84	997.27	984.52	955.88	976.53	963.70	1032.90
9	1083.40	1078.10	959.31	1010.00	1000.50	961.60	1011.70	998.62	966.13	979.55	967.06	1016.80
10	2970.10	3047.30	1862.50	2266.80	2312.60	1419.10	2278.40	2279.90	1989.50	1680.60	1694.30	1216.90
11	3262.90	3351.30	2061.70	2518.70	2578.90	1515.00	2532.20	2542.60	2215.80	1827.00	1848.50	1267.40
12	3557.30	3655.40	2299.80	2798.50	2873.60	1631.70	2813.20	2834.60	2481.30	2003.20	2034.90	1327.30
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	64.67	66.22	71.85	67.10	68.99	69.28	67.03	69.00	<b>72.09</b>	66.37	68.36	64.86

Tabla A.48. Tensiones y desplazamientos dinámicos, P20NL3AS45CD1P0FSP.

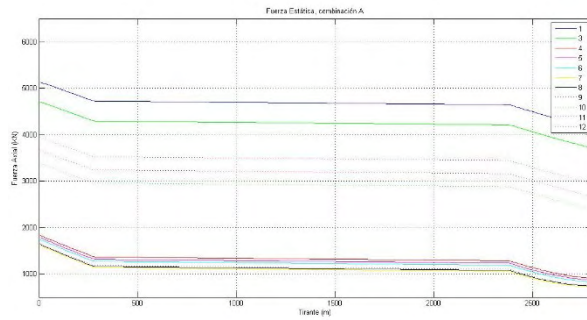
Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
2	6771.50	6736.00	7232.90	7815.60	7822.30	7110.70	7794.90	7851.90	7368.80	8043.80	<b>8094.60</b>	6307.60
3	6419.80	6380.80	7085.60	7566.40	7569.70	7134.40	7542.70	7604.30	7206.70	7975.40	8020.50	6487.40
4	2798.10	2718.80	2676.70	2882.20	2800.90	3363.60	2836.80	2762.80	2624.90	3256.80	3172.70	4286.90
5	2747.00	2662.40	2549.90	2796.50	2719.20	3105.80	2758.50	2686.80	2508.70	3084.60	3002.10	3960.70
6	2700.00	2615.20	2449.00	2732.10	2649.90	2896.70	2697.80	2622.80	2413.70	2950.90	2866.40	3653.20
7	2566.20	2481.10	2041.50	2551.90	2462.10	2085.30	2563.90	2475.20	2055.80	2629.90	2532.30	2181.90
8	2590.00	2501.50	2056.50	2578.60	2485.90	2090.10	2592.80	2503.00	2070.80	2645.60	2546.40	2171.10
9	2621.70	2532.40	2077.90	2603.30	2514.70	2100.40	2620.20	2533.90	2091.50	2668.30	2565.30	2164.50
10	4773.40	4762.10	3129.10	3713.40	3686.10	2567.10	3772.10	3705.30	3064.10	3010.50	2961.30	2283.90
11	5166.40	5162.70	3355.70	4036.70	4041.10	2663.20	4077.00	3999.90	3334.70	3149.10	3107.00	2333.10
12	5578.50	5592.10	3633.90	4460.60	4471.50	2789.50	4468.00	4401.60	3660.20	3324.10	3292.90	2396.20
Fibra sintética poliéster (fibra)												
2	6342.80	6324.80	6862.10	7415.00	7433.70	6748.50	7390.00	7457.20	7010.40	7663.80	<b>7721.70</b>	5935.10
3	5985.00	5960.80	6708.30	7167.00	7180.30	6772.70	7137.60	7208.90	6845.90	7596.50	7648.20	6117.00
4	1844.80	1809.30	2119.70	2064.10	2014.70	2891.60	2024.80	1995.90	2045.70	2583.70	2538.60	3878.00
5	1780.10	1744.90	1965.70	1953.80	1909.70	2619.70	1921.50	1889.70	1897.80	2383.00	2339.40	3526.60
6	1722.40	1688.80	1846.30	1863.70	1820.90	2388.00	1835.60	1803.80	1785.30	2219.00	2177.80	3203.70
7	1548.80	1517.40	1287.00	1498.70	1463.00	1337.30	1512.40	1474.10	1292.70	1520.70	1483.30	1434.10
8	1579.10	1546.60	1293.90	1515.10	1482.00	1329.60	1531.50	1496.20	1305.00	1523.40	1485.80	1414.30
9	1611.10	1579.50	1304.50	1535.30	1501.30	1324.30	1555.10	1518.60	1323.00	1531.20	1492.30	1396.30
10	4233.40	4261.30	2519.40	3102.40	3117.80	1899.70	3148.20	3104.40	2570.90	2279.60	2264.80	1595.30
11	4683.80	4714.10	2781.60	3506.90	3530.80	2023.20	3530.20	3480.50	2867.20	2449.20	2442.00	1659.70
12	5124.10	5155.60	3092.20	3952.00	3986.30	2174.30	3976.10	3929.20	3215.60	2653.10	2656.00	1736.40
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
2	6297.80	6277.70	6797.80	7367.00	7385.20	6680.50	7340.50	7407.10	6943.80	7610.80	<b>7667.70</b>	5865.10
3	5935.70	5911.50	6648.10	7117.90	7129.80	6705.00	7087.10	7156.80	6779.30	7543.10	7593.50	6047.20
4	1798.90	1760.20	2056.80	2014.60	1965.80	2833.10	1975.40	1942.90	1980.70	2534.70	2486.30	3816.20
5	1730.20	1693.40	1908.10	1904.10	1857.00	2556.80	1870.10	1836.70	1834.00	2334.50	2288.50	3470.30
6	1670.20	1635.50	1784.10	1809.30	1766.50	2325.40	1779.00	1745.80	1719.40	2167.90	2123.00	3147.80
7	1484.40	1450.20	1208.50	1442.50	1403.90	1264.30	1455.60	1415.70	1217.60	1470.30	1428.00	1362.40
8	1514.20	1481.00	1214.30	1455.70	1420.00	1252.50	1473.70	1434.20	1229.60	1473.90	1431.10	1338.60
9	1551.20	1517.10	1226.50	1478.70	1443.00	1246.30	1501.10	1461.10	1244.70	1482.40	1439.80	1326.40
10	4183.20	4208.00	2465.20	3057.70	3069.70	1835.70	3104.80	3055.10	2511.60	2229.00	2213.70	1522.40
11	4634.00	4661.00	2727.30	3460.30	3480.60	1960.90	3483.80	3430.80	2807.90	2400.60	2389.50	1588.10
12	5074.60	5105.00	3035.70	3903.80	3935.10	2112.40	3928.20	3878.80	3155.90	2606.70	2605.80	1667.70
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	92.11	92.25	85.96	96.17	<b>96.59</b>	83.21	95.99	96.54	88.18	94.72	95.38	78.53

Tabla A.49. Relaciones dinámicos-estáticos, P20NL3AS45CD1P0FSP.

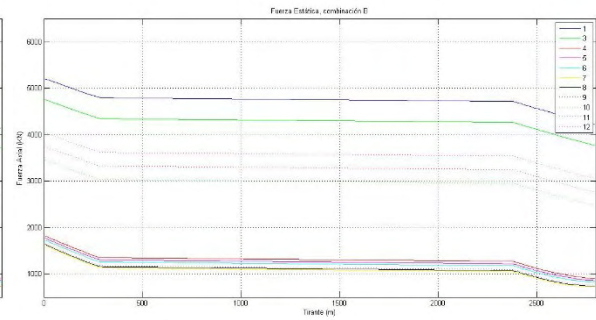
Sección	Línea	Combinación											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena FC	2	1.35	1.33	1.17	1.37	1.34	1.18	1.37	1.34	1.20	<b>1.36</b>	1.33	1.20
	3	1.35	1.32	1.16	1.37	1.34	1.18	1.37	1.34	1.20	1.36	1.33	1.19
	4	1.54	1.51	1.21	1.44	1.41	1.17	1.42	1.38	1.23	1.36	1.34	1.16
	5	1.56	1.52	1.22	1.46	1.43	1.18	1.44	1.40	1.24	1.38	1.35	1.16
	6	1.56	1.53	1.23	1.48	1.44	1.19	1.46	1.42	1.25	1.40	1.37	1.16
	7	1.59	1.55	1.34	1.64	1.59	1.34	1.64	1.60	1.34	1.70	1.65	1.35
	8	1.59	1.54	1.34	1.64	1.59	1.35	1.65	1.61	1.35	1.71	1.66	1.35
	9	1.59	1.54	1.35	1.65	1.60	1.36	1.66	1.61	1.36	1.72	1.66	1.36
	10	1.37	1.34	1.31	1.33	1.30	1.30	1.35	1.32	1.22	1.36	1.33	1.28
	11	1.37	1.34	1.30	1.33	1.30	1.29	1.34	1.31	1.22	1.33	1.30	1.28
	12	1.37	1.34	1.29	1.35	1.32	1.28	1.34	1.32	1.22	1.31	1.28	1.27
Fibra	2	1.38	1.36	1.18	1.40	1.37	1.20	1.40	1.37	1.22	<b>1.39</b>	1.36	1.22
	3	1.37	1.35	1.17	1.40	1.37	1.19	1.40	1.37	1.21	1.39	1.36	1.21
	4	1.36	1.35	1.20	1.34	1.32	1.18	1.31	1.30	1.22	1.33	1.31	1.18
	5	1.37	1.35	1.20	1.34	1.32	1.19	1.32	1.30	1.21	1.33	1.32	1.17
	6	1.37	1.35	1.21	1.34	1.33	1.19	1.33	1.31	1.21	1.33	1.32	1.17
	7	1.37	1.35	1.23	1.39	1.37	1.25	1.40	1.38	1.24	1.42	1.40	1.25
	8	1.37	1.35	1.24	1.39	1.37	1.25	1.40	1.39	1.24	1.42	1.40	1.26
	9	1.37	1.35	1.24	1.39	1.37	1.25	1.41	1.39	1.25	1.43	1.41	1.26
	10	1.38	1.36	1.29	1.32	1.30	1.26	1.33	1.31	1.24	1.29	1.27	1.22
	11	1.40	1.37	1.29	1.34	1.32	1.26	1.35	1.32	1.24	1.28	1.26	1.22
	12	1.41	1.38	1.29	1.37	1.35	1.26	1.37	1.34	1.25	1.27	1.25	1.22
Cadena SC	2	1.40	1.37	1.19	1.41	1.39	1.21	1.41	1.38	1.22	<b>1.40</b>	1.37	1.23
	3	1.39	1.37	1.18	1.41	1.38	1.20	1.41	1.38	1.22	1.40	1.37	1.22
	4	1.43	1.41	1.22	1.39	1.37	1.20	1.36	1.34	1.24	1.36	1.35	1.19
	5	1.43	1.42	1.23	1.39	1.37	1.21	1.37	1.35	1.24	1.37	1.36	1.19
	6	1.43	1.42	1.24	1.40	1.38	1.22	1.38	1.35	1.25	1.38	1.36	1.19
	7	1.43	1.40	1.27	1.46	1.44	1.30	1.48	1.45	1.28	1.50	1.48	1.29
	8	1.43	1.40	1.28	1.46	1.44	1.30	1.48	1.46	1.29	1.51	1.49	1.30
	9	1.43	1.41	1.28	1.46	1.44	1.30	1.48	1.46	1.29	1.51	1.49	1.30
	10	1.41	1.38	1.32	1.35	1.33	1.29	1.36	1.34	1.26	1.33	1.31	1.25
	11	1.42	1.39	1.32	1.37	1.35	1.29	1.38	1.35	1.27	1.31	1.29	1.25
	12	1.43	1.40	1.32	1.39	1.37	1.29	1.40	1.37	1.27	1.30	1.28	1.26
Desplazamiento lateral (m)													
SEMI		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		1.42	1.39	1.20	1.43	1.40	1.20	1.43	1.40	1.22	<b>1.43</b>	1.40	1.21

P20NL4AS45CD2P0FSP

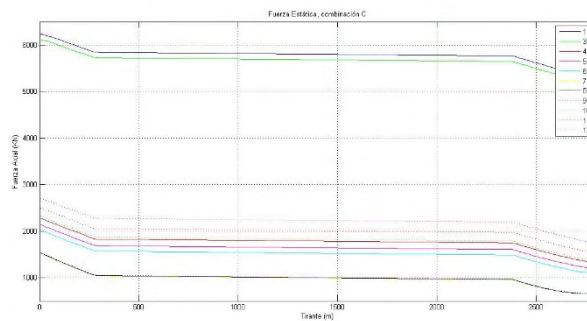
## TENSIONES ESTÁTICAS



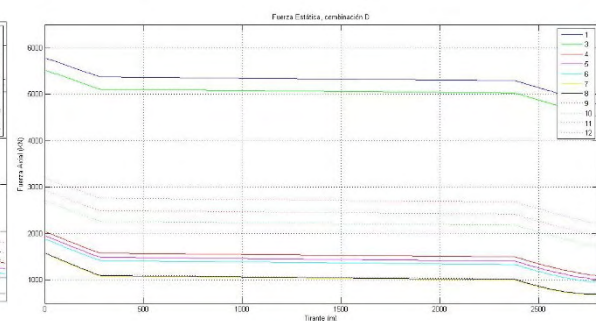
(A)



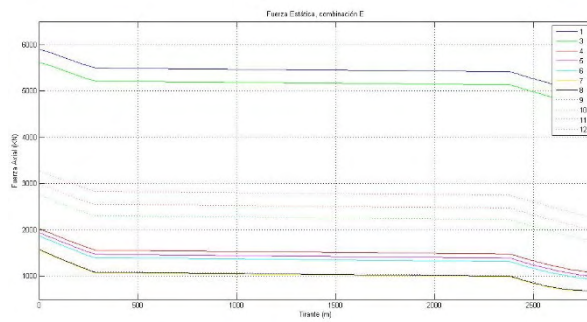
(B)



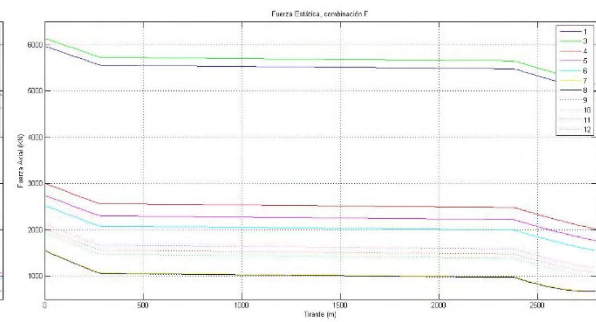
(C)



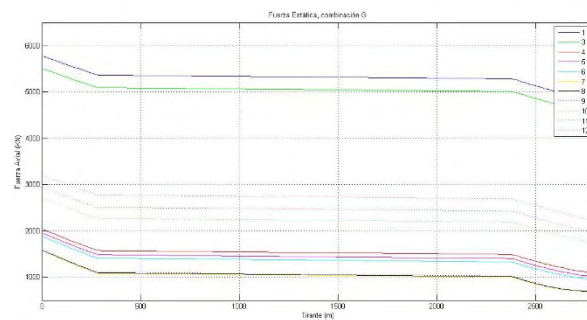
(D)



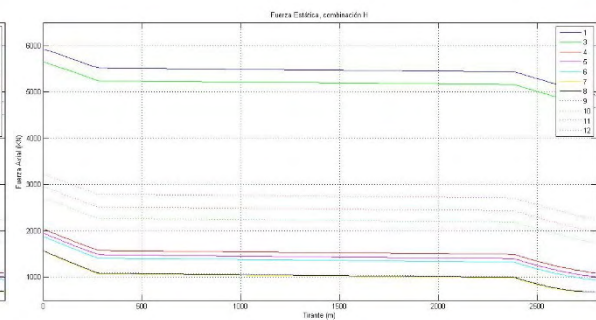
(E)



(F)



(G)



(H)



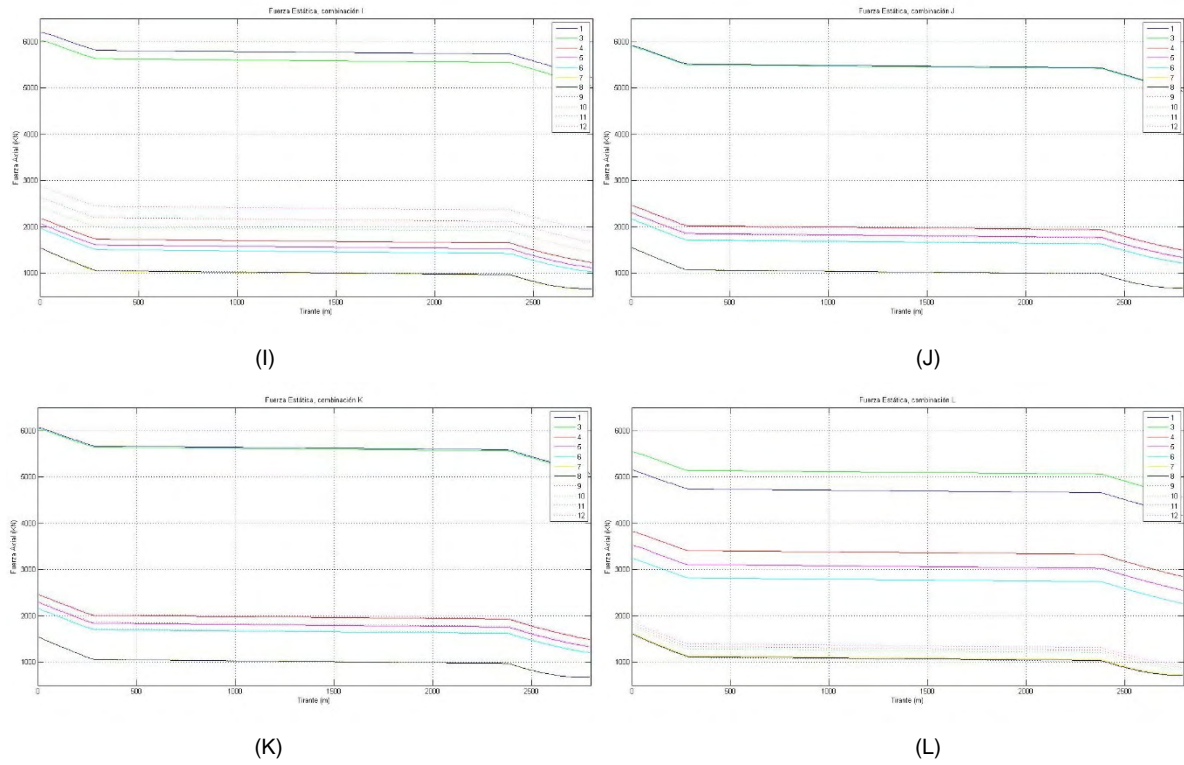
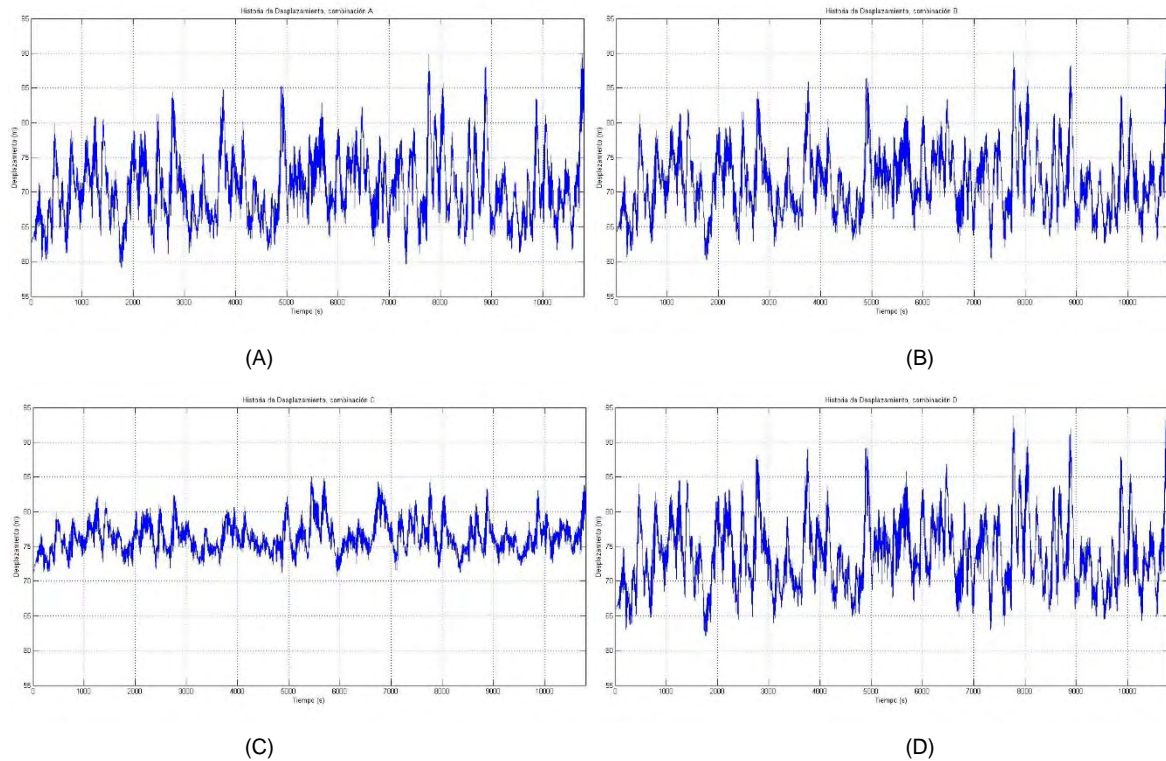


Figura A.34. Fuerzas axiales estáticas, P20NL3AS45CD2P0FSP.

## HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS DINÁMICOS



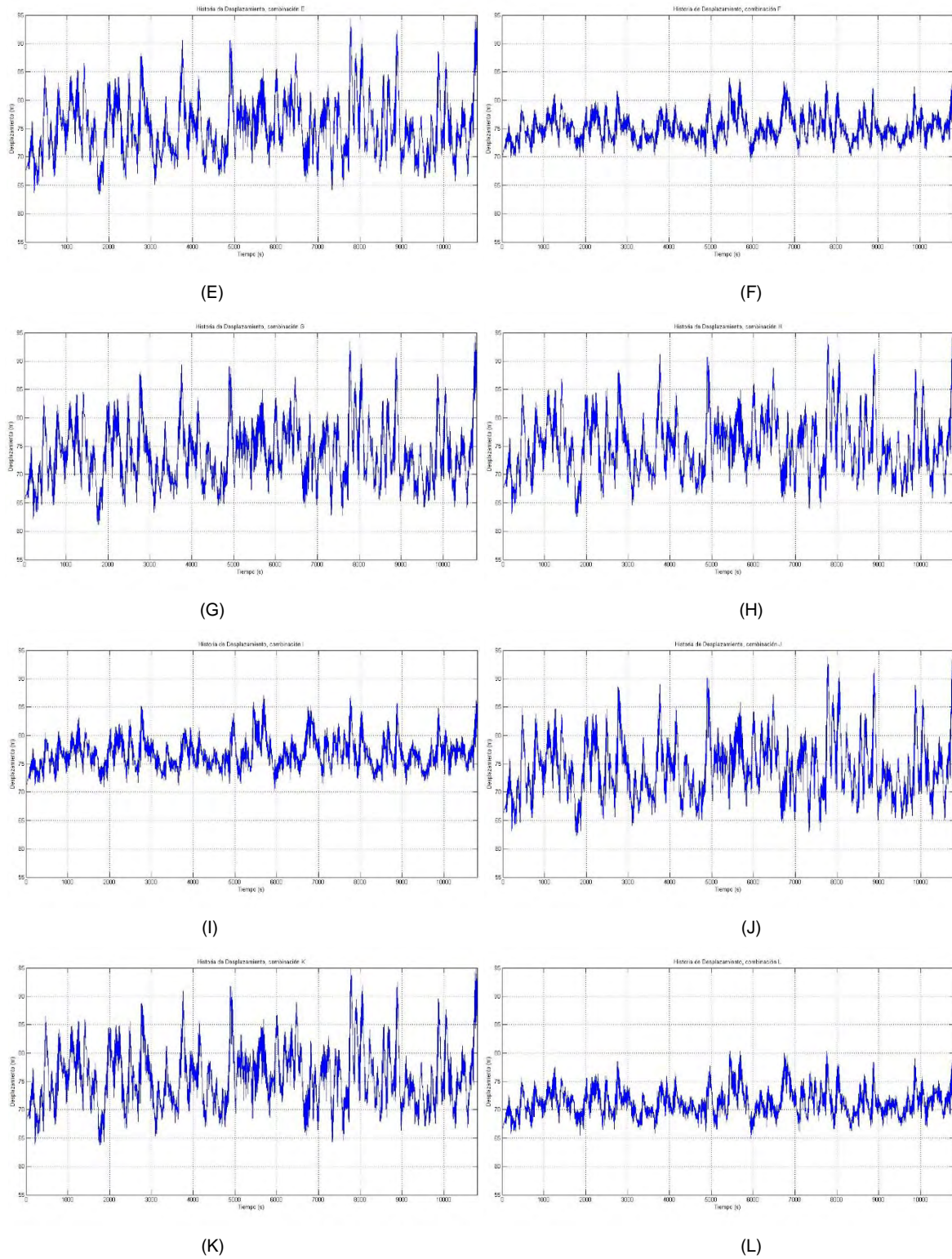
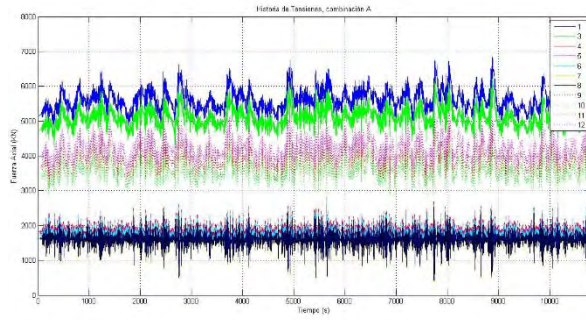


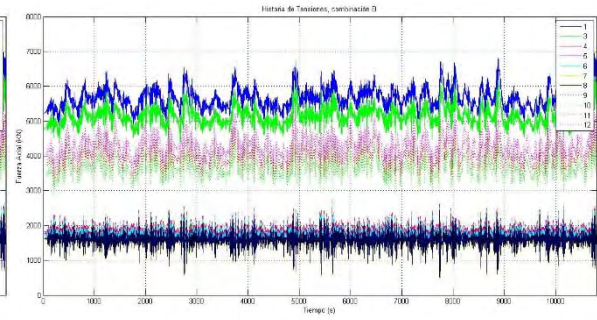
Figura A.35. Historia de Desplazamientos, P20NL3AS45CD2P0FSP.



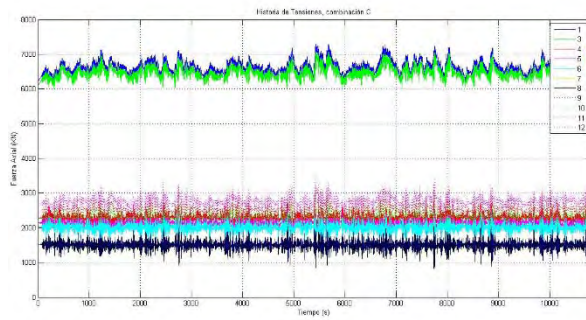
# HISTORIA DE TENSIONES



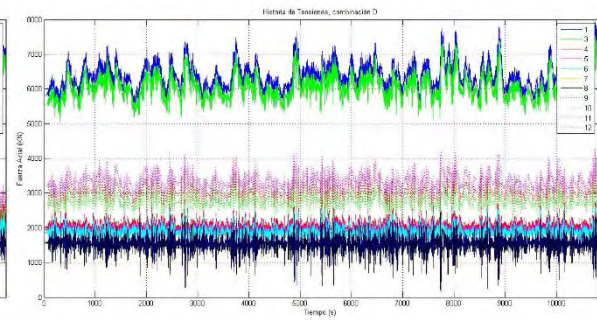
(A)



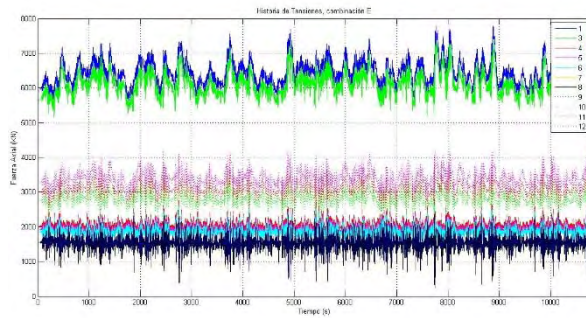
(B)



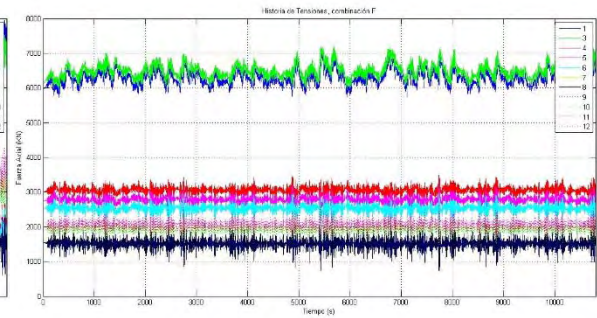
(C)



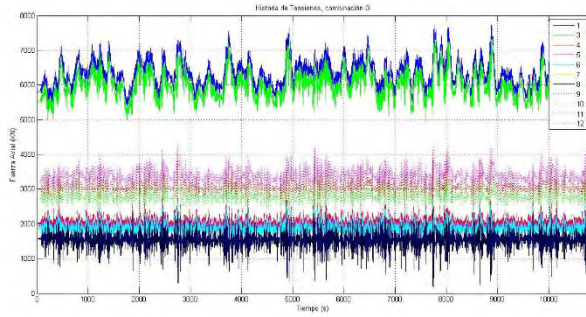
(D)



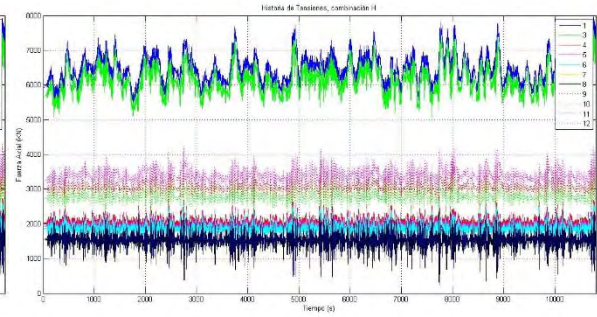
(E)



(F)



(G)



(H)

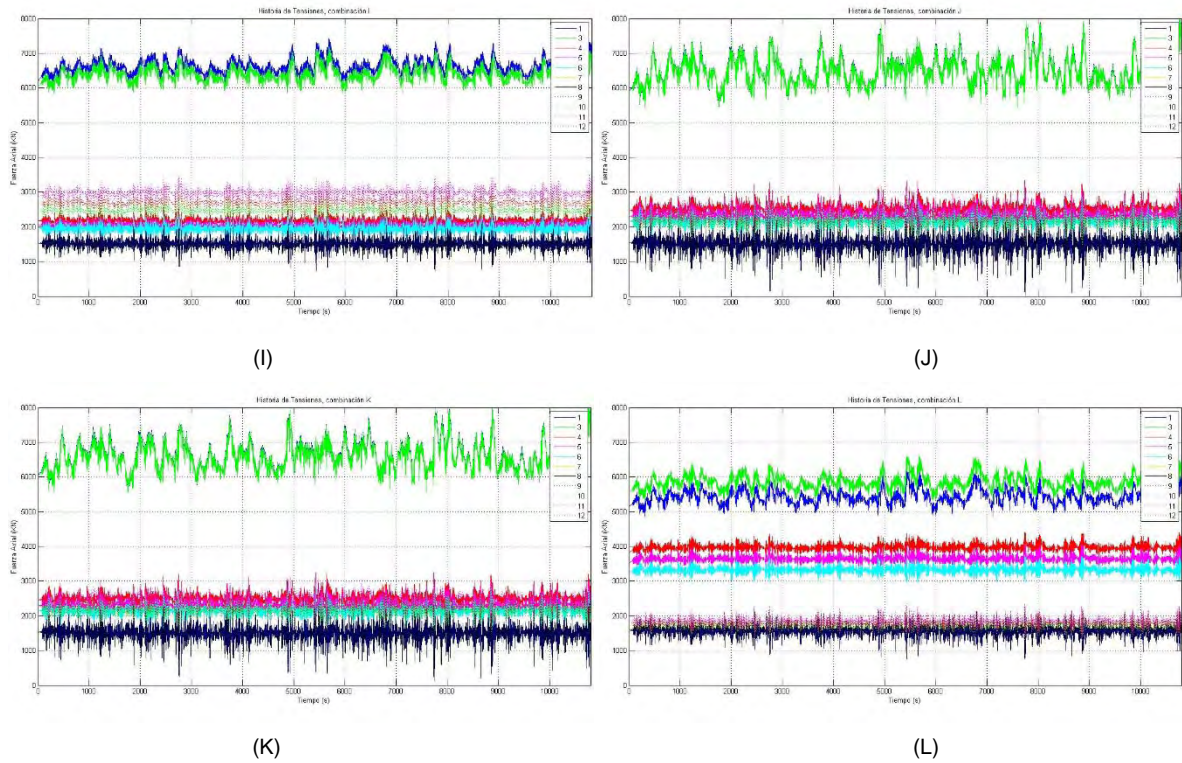
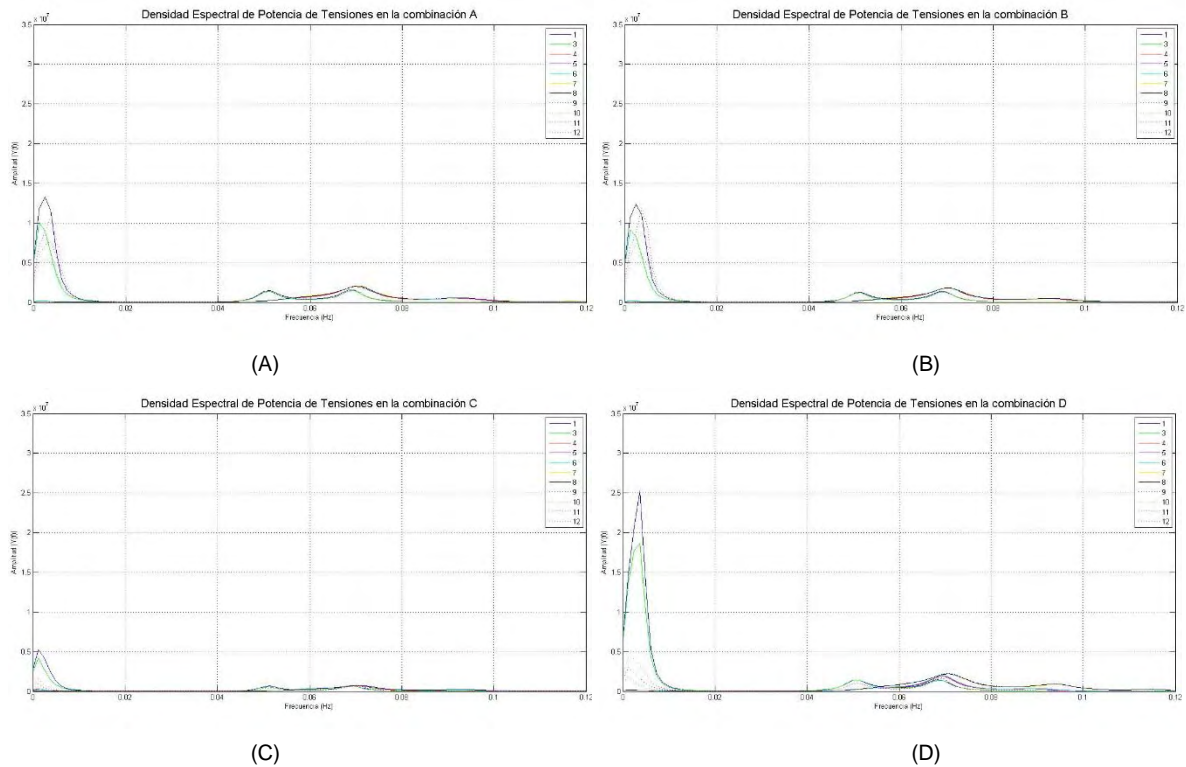


Figura A.36. Historia de tensiones dinámicas, P20NL3AS45CD2P0FSP.

## DISEÑO ESPECTRAL DE POTENCIA DE TENSIONES





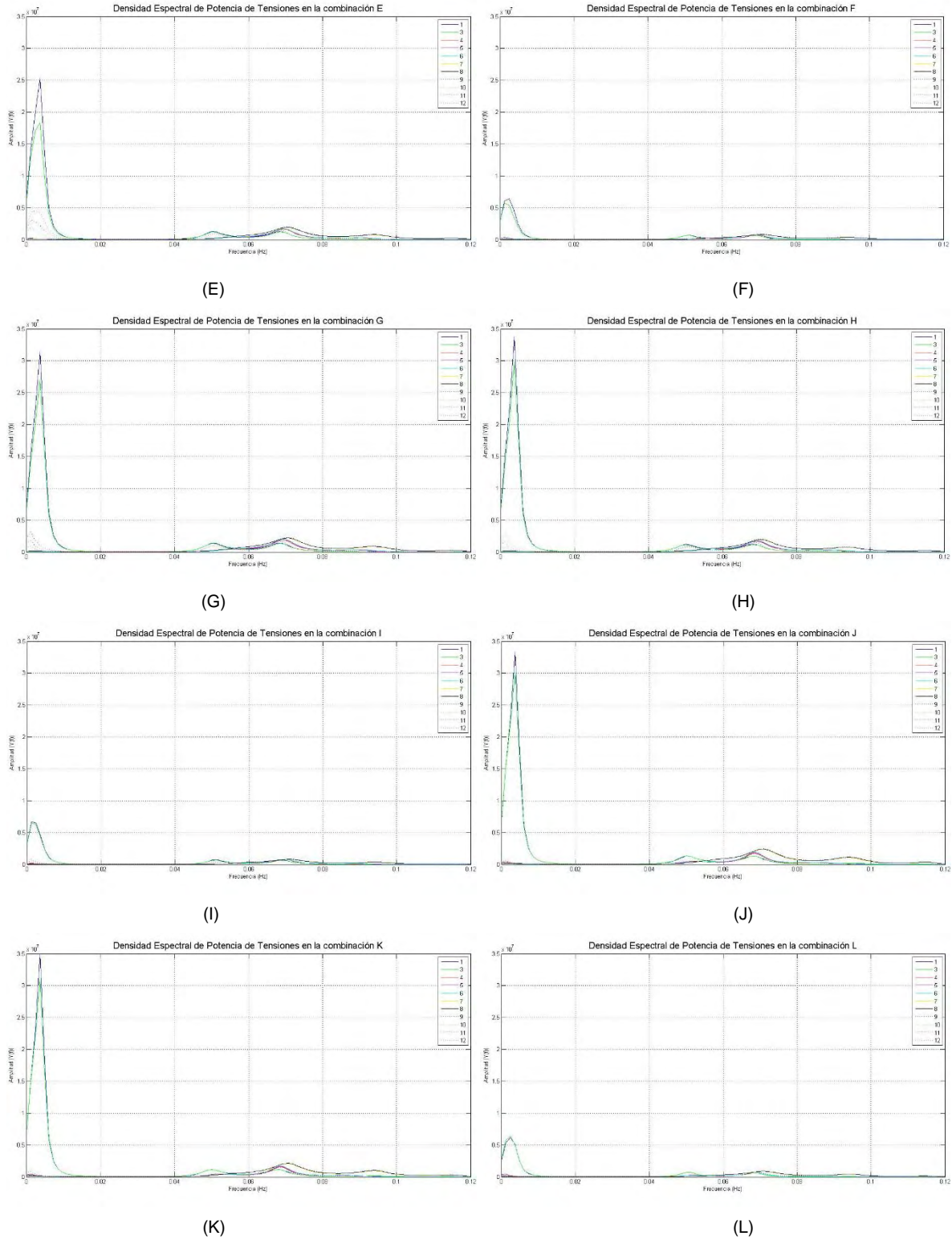


Figura A.37. Diseño espectral de potencia de tensiones, P20NL3AS45CD2P0FSP.



Tabla A.50. Tensiones y desplazamientos estáticos, P20NL3AS45CD2P0FSP.

Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
1	5129.20	5200.30	<b>6234.60</b>	5772.70	5895.40	5953.30	5766.90	5919.50	6205.40	5917.50	6068.70	5148.70
3	4701.90	4753.50	6114.80	5508.30	5614.10	6121.20	5497.70	5646.80	6026.70	5902.80	6044.40	5544.20
4	1829.90	1816.20	2277.60	2032.10	2015.50	2992.10	2028.40	2029.90	2183.20	2465.20	2452.00	3821.50
5	1781.50	1768.50	2138.60	1945.90	1930.00	2736.10	1943.70	1942.50	2062.80	2301.30	2286.00	3525.10
6	1740.80	1728.50	2026.00	1874.70	1859.50	2518.20	1873.60	1870.50	1965.40	2166.60	2150.50	3239.50
7	1617.70	1611.50	1530.40	1564.20	1554.40	1550.60	1563.50	1551.20	1532.10	1552.00	1539.70	1614.60
8	1635.50	1630.20	1533.00	1573.10	1563.80	1541.80	1572.40	1560.30	1536.70	1550.60	1538.60	1596.70
9	1656.20	1651.40	1538.90	1585.20	1576.30	1536.40	1584.70	1572.20	1544.70	1552.40	1540.70	1581.30
10	3386.30	3460.00	2320.20	2699.20	2740.70	1931.40	2707.10	2706.20	2433.10	2158.70	2169.50	1761.40
11	3663.20	3748.00	2497.90	2930.20	2985.30	2017.10	2939.30	2946.30	2635.30	2289.10	2306.50	1807.80
12	3944.00	4038.50	2713.50	3190.60	3260.20	2122.00	3200.40	3217.50	2876.10	2447.30	2473.60	1863.20
Fibra sintética poliéster (fibra)												
1	4725.00	4796.50	<b>5845.00</b>	5373.70	5497.10	5558.00	5365.00	5518.30	5814.60	5518.10	5670.00	4742.40
3	4293.50	4345.50	5725.10	5107.50	5213.90	5729.10	5092.80	5242.60	5632.90	5504.20	5646.50	5143.10
4	1368.40	1354.00	1832.70	1579.30	1562.10	2565.30	1573.70	1575.20	1734.10	2025.30	2011.80	3410.80
5	1317.40	1303.80	1689.40	1490.00	1473.50	2303.90	1485.50	1484.20	1609.40	1857.10	1841.40	3109.80
6	1274.30	1261.50	1573.10	1415.80	1400.00	2080.70	1412.30	1409.00	1508.00	1718.40	1701.80	2819.30
7	1142.30	1135.80	1045.40	1084.90	1074.50	1069.20	1085.70	1072.70	1047.70	1072.70	1059.70	1140.50
8	1161.40	1155.90	1047.90	1094.30	1084.60	1059.20	1095.50	1082.70	1053.10	1070.90	1058.30	1120.80
9	1183.70	1178.60	1054.00	1107.30	1097.90	1052.90	1108.90	1095.70	1062.10	1072.60	1060.30	1103.70
10	2961.90	3036.40	1875.70	2263.20	2305.40	1472.10	2273.60	2272.70	1993.00	1709.40	1720.50	1291.00
11	3242.40	3328.00	2057.80	2498.20	2554.10	1561.70	2510.40	2517.50	2200.30	1843.60	1861.50	1340.20
12	3526.60	3621.90	2277.60	2762.40	2833.00	1670.60	2776.00	2793.40	2446.40	2005.90	2032.70	1398.70
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
1	4636.40	4708.00	<b>5756.90</b>	5285.40	5408.80	5469.80	5276.70	5430.10	5726.50	5429.80	5581.80	4653.80
3	4204.80	4256.70	5636.90	5019.10	5125.50	5641.00	5004.40	5154.30	5544.70	5415.90	5558.30	5054.70
4	1275.80	1261.40	1741.60	1487.60	1470.40	2475.40	1481.90	1483.50	1642.80	1934.70	1921.10	3321.60
5	1224.60	1211.00	1598.00	1398.00	1381.40	2213.70	1393.40	1392.20	1517.80	1766.20	1750.40	3020.40
6	1181.30	1168.40	1481.40	1323.50	1307.60	1990.20	1319.90	1316.60	1416.00	1627.10	1610.50	2729.60
7	1048.50	1041.90	950.76	990.66	980.18	974.75	991.42	978.33	953.17	978.33	965.23	1046.60
8	1067.70	1062.10	953.34	1000.10	990.33	964.70	1001.30	988.40	958.55	976.52	963.81	1026.80
9	1090.10	1085.00	959.45	1013.10	1003.70	958.33	1014.80	1001.50	967.58	978.19	965.84	1009.60
10	2872.30	2946.90	1784.80	2172.90	2215.20	1380.10	2183.40	2182.50	1902.40	1618.10	1629.30	1198.00
11	3153.10	3238.80	1967.30	2408.20	2464.20	1469.90	2420.50	2427.60	2110.00	1752.70	1770.60	1247.50
12	3437.50	3532.80	2187.40	2672.70	2743.30	1579.20	2686.40	2703.70	2356.40	1915.20	1942.10	1306.30
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	62.80	64.29	<b>71.26</b>	65.77	67.60	70.09	65.68	67.65	71.13	66.31	68.25	66.60

Tabla A.51. Tensiones y desplazamientos dinámicos, P20NL3AS45CD2P0FSP.

Fuerza axial (KN)												
Línea	Combinación											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena en zonas de marea (cadena FC)												
1	6968.00	6934.20	7291.90	7929.70	7939.80	7055.20	7913.40	7966.20	7422.70	8036.00	<b>8090.30</b>	6171.50
3	6332.20	6291.00	7092.00	7524.00	7527.50	7198.10	7501.50	7565.60	7194.60	8007.90	8051.30	6605.20
4	2819.60	2734.90	2734.80	2912.50	2833.30	3481.10	2867.20	2797.40	2675.90	3333.00	3248.90	4410.40
5	2766.80	2684.10	2598.10	2827.50	2746.10	3203.70	2786.40	2715.20	2551.10	3145.10	3064.00	4068.80
6	2720.90	2639.00	2492.40	2760.90	2677.90	2975.00	2726.70	2647.50	2451.60	2999.90	2915.40	3747.30
7	2582.70	2500.80	2052.60	2567.90	2476.40	2087.70	2579.60	2487.20	2063.10	2633.20	2534.70	2176.30
8	2615.80	2531.70	2065.20	2593.50	2499.60	2091.60	2606.60	2513.30	2078.60	2647.20	2547.80	2163.70
9	2641.80	2555.70	2085.60	2617.80	2523.30	2099.90	2634.00	2541.80	2097.00	2669.40	2566.30	2161.20
10	4677.70	4667.30	3040.70	3614.70	3586.90	2524.70	3661.50	3594.20	2964.90	2955.50	2904.20	2266.10
11	5060.30	5050.70	3249.50	3896.20	3894.40	2615.80	3952.10	3871.30	3211.70	3082.10	3034.70	2312.70
12	5443.60	5446.20	3503.10	4297.80	4307.50	2731.70	4302.50	4235.00	3512.80	3240.20	3204.80	2374.40
Fibra sintética poliéster (fibra)												
1	6544.10	6526.50	6923.80	7527.90	7549.40	6692.00	7508.40	7572.80	7065.70	7655.30	<b>7716.40</b>	5796.70
3	5898.70	5871.30	6714.30	7125.20	7136.80	6836.60	7097.40	7171.30	6833.60	7629.50	7679.40	6235.40
4	1865.00	1828.60	2192.20	2102.70	2054.30	3017.10	2060.70	2033.30	2107.30	2678.90	2634.50	4003.20
5	1798.80	1764.00	2027.00	1989.60	1945.70	2727.80	1955.20	1924.40	1947.80	2463.70	2421.60	3641.50
6	1740.70	1707.20	1894.60	1895.60	1852.70	2478.30	1865.60	1834.80	1828.80	2287.50	2246.40	3303.70
7	1559.90	1528.80	1293.10	1510.70	1474.20	1335.40	1522.80	1484.90	1298.70	1522.40	1484.80	1425.20
8	1588.70	1558.50	1298.80	1524.80	1489.60	1327.40	1540.40	1503.60	1310.20	1523.90	1486.30	1405.00
9	1621.00	1589.90	1308.10	1541.60	1508.60	1320.50	1562.30	1524.40	1326.40	1530.00	1491.50	1386.40
10	4109.50	4135.10	2421.30	2977.20	2987.80	1851.30	3031.30	2984.50	2462.00	2210.80	2194.10	1573.40
11	4545.90	4575.00	2660.90	3356.80	3378.70	1967.20	3377.50	3324.00	2735.40	2366.40	2356.30	1636.20
12	4977.30	5007.40	2948.60	3781.90	3814.10	2108.40	3802.90	3753.60	3059.70	2556.00	2552.70	1711.70
Cadena en fondo marino (cadena SC)												
1	6500.60	6480.50	6856.00	7481.00	7501.10	6623.20	7460.00	7523.10	6998.40	7602.30	<b>7663.00</b>	5726.90
3	5848.80	5819.20	6653.00	7076.30	7086.30	6768.60	7047.00	7118.90	6767.60	7576.00	7624.60	6165.90
4	1818.00	1780.20	2125.00	2055.70	2007.30	2959.20	2013.80	1982.20	2042.90	2629.80	2583.40	3945.00
5	1747.80	1711.90	1965.50	1940.50	1893.30	2665.20	1904.30	1872.10	1885.50	2416.00	2370.30	3583.20
6	1691.40	1654.30	1834.40	1844.00	1801.00	2416.00	1811.20	1777.20	1763.70	2236.40	2191.70	3247.60
7	1502.30	1469.70	1214.50	1453.20	1415.50	1262.30	1467.10	1427.10	1223.40	1472.50	1430.60	1352.50
8	1524.30	1491.60	1219.90	1466.80	1428.20	1249.30	1484.40	1442.40	1233.70	1474.50	1431.80	1330.10
9	1561.20	1528.70	1230.70	1487.70	1449.50	1242.70	1508.00	1467.20	1248.50	1481.60	1438.80	1312.90
10	4060.90	4083.00	2366.90	2930.20	2939.90	1785.90	2987.70	2937.90	2402.20	2158.40	2141.00	1499.30
11	4496.20	4522.60	2606.20	3310.90	3329.60	1902.90	3331.60	3275.10	2675.50	2317.90	2303.90	1564.20
12	4928.10	4955.00	2893.10	3734.20	3763.30	2046.80	3755.00	3703.20	3000.20	2508.10	2503.30	1642.50
Desplazamiento lateral (m)												
SEMI	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	89.90	90.15	85.05	94.54	94.92	83.88	94.33	94.91	87.05	94.63	<b>95.23</b>	80.37

Tabla A.52. Relaciones dinámicos-estáticos, P20NL3AS45CD2P0FSP.

Sección	Línea	Combinación											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cadena FC	1	1.36	1.33	1.17	1.37	1.35	1.19	1.37	1.35	1.20	<b>1.36</b>	1.33	1.20
	3	1.35	1.32	1.16	1.37	1.34	1.18	1.36	1.34	1.19	1.36	1.33	1.19
	4	1.54	1.51	1.20	1.43	1.41	1.16	1.41	1.38	1.23	1.35	1.33	1.15
	5	1.55	1.52	1.21	1.45	1.42	1.17	1.43	1.40	1.24	1.37	1.34	1.15
	6	1.56	1.53	1.23	1.47	1.44	1.18	1.46	1.42	1.25	1.38	1.36	1.16
	7	1.60	1.55	1.34	1.64	1.59	1.35	1.65	1.60	1.35	1.70	1.65	1.35
	8	1.60	1.55	1.35	1.65	1.60	1.36	1.66	1.61	1.35	1.71	1.66	1.36
	9	1.60	1.55	1.36	1.65	1.60	1.37	1.66	1.62	1.36	1.72	1.67	1.37
	10	1.38	1.35	1.31	1.34	1.31	1.31	1.35	1.33	1.22	1.37	1.34	1.29
	11	1.38	1.35	1.30	1.33	1.30	1.30	1.34	1.31	1.22	1.35	1.32	1.28
	12	1.38	1.35	1.29	1.35	1.32	1.29	1.34	1.32	1.22	1.32	1.30	1.27
Fibra	1	1.38	1.36	1.18	1.40	1.37	1.20	1.40	1.37	1.22	<b>1.39</b>	1.36	1.22
	3	1.37	1.35	1.17	1.40	1.37	1.19	1.39	1.37	1.21	1.39	1.36	1.21
	4	1.36	1.35	1.20	1.33	1.32	1.18	1.31	1.29	1.22	1.32	1.31	1.17
	5	1.37	1.35	1.20	1.34	1.32	1.18	1.32	1.30	1.21	1.33	1.32	1.17
	6	1.37	1.35	1.20	1.34	1.32	1.19	1.32	1.30	1.21	1.33	1.32	1.17
	7	1.37	1.35	1.24	1.39	1.37	1.25	1.40	1.38	1.24	1.42	1.40	1.25
	8	1.37	1.35	1.24	1.39	1.37	1.25	1.41	1.39	1.24	1.42	1.40	1.25
	9	1.37	1.35	1.24	1.39	1.37	1.25	1.41	1.39	1.25	1.43	1.41	1.26
	10	1.39	1.36	1.29	1.32	1.30	1.26	1.33	1.31	1.24	1.29	1.28	1.22
	11	1.40	1.37	1.29	1.34	1.32	1.26	1.35	1.32	1.24	1.28	1.27	1.22
	12	1.41	1.38	1.29	1.37	1.35	1.26	1.37	1.34	1.25	1.27	1.26	1.22
Cadena SC	1	1.40	1.38	1.19	1.42	1.39	1.21	1.41	1.39	1.22	<b>1.40</b>	1.37	1.23
	3	1.39	1.37	1.18	1.41	1.38	1.20	1.41	1.38	1.22	1.40	1.37	1.22
	4	1.42	1.41	1.22	1.38	1.37	1.20	1.36	1.34	1.24	1.36	1.34	1.19
	5	1.43	1.41	1.23	1.39	1.37	1.20	1.37	1.34	1.24	1.37	1.35	1.19
	6	1.43	1.42	1.24	1.39	1.38	1.21	1.37	1.35	1.25	1.37	1.36	1.19
	7	1.43	1.41	1.28	1.47	1.44	1.29	1.48	1.46	1.28	1.51	1.48	1.29
	8	1.43	1.40	1.28	1.47	1.44	1.30	1.48	1.46	1.29	1.51	1.49	1.30
	9	1.43	1.41	1.28	1.47	1.44	1.30	1.49	1.47	1.29	1.51	1.49	1.30
	10	1.41	1.39	1.33	1.35	1.33	1.29	1.37	1.35	1.26	1.33	1.31	1.25
	11	1.43	1.40	1.32	1.37	1.35	1.29	1.38	1.35	1.27	1.32	1.30	1.25
	12	1.43	1.40	1.32	1.40	1.37	1.30	1.40	1.37	1.27	1.31	1.29	1.26
Desplazamiento lateral (m)													
SEMI		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		1.43	1.40	1.19	1.44	1.40	1.20	1.44	1.40	1.22	<b>1.43</b>	1.40	1.21

Debido a la doble simetría de las líneas de amarre, solo se muestran las coordenadas de las primeras 3 o 4 líneas de amarre del sistema de amarre. Solamente la variable del ángulo de salida modifica las coordenadas del punto de anclaje, mientras que el punto de amarre permanece constante de acuerdo a la cantidad de líneas por columna.

Tabla A.53. Coordenadas de los puntos de amarre y de anclaje del sistema de amarre para 2,000 m de tirante de agua.

Modelo	Línea	Punto de amarre		
		X	Y	Z
Todos los modelos 3 líneas por columna	1	45.00	35.00	-19.00
	2	45.00	37.00	-19.00
	3	45.00	39.00	-19.00
Punto de anclaje				
P20NL3AS45	1	1562.50	1308.40	-2000.00
	2	1445.80	1437.80	-2000.00
	3	1318.40	1556.50	-2000.00
P20NL3AS46	1	1638.40	1372.00	-2000.00
	2	1515.80	1507.80	-2000.00
	3	1382.00	1632.40	-2000.00
P20NL3AS47	1	1714.30	1435.70	-2000.00
	2	1585.90	1577.90	-2000.00
	3	1445.70	1708.30	-2000.00
Modelo	Línea	Punto de amarre		
		X	Y	Z
Todos los modelos 4 líneas por columna	1	45.00	36.00	-19.00
	2	45.00	38.00	-19.00
	3	45.00	40.00	-19.00
	4	45.00	42.00	-19.00
Punto de anclaje				
P20NL4AS45	1	1616.60	1242.00	-2000.00
	2	1505.50	1376.30	-2000.00
	3	1383.30	1500.50	-2000.00
	4	1251.00	1613.60	-2000.00
P20NL4AS46	1	1695.20	1302.30	-2000.00
	2	1578.60	1443.30	-2000.00
	3	1450.30	1573.60	-2000.00
	4	1311.30	1692.20	-2000.00
P20NL4AS47	1	1773.80	1362.60	-2000.00
	2	1651.60	1510.20	-2000.00
	3	1517.20	1646.60	-2000.00
	4	1371.60	1770.80	-2000.00

Tabla A.54. Propiedades geométricas del sistema de amarre para 2,000 m de tirante de agua y 3 líneas por columna.

Modelo	Sección	Tipo	D (m)	MBL (KN)	Peso (TON)
P20NL3AS45CIP0FSP P20NL3AS45CD1P0FSP P20NL3AS45CD2P0FSP	Cadena FC	Studlink	0.105	10,754	811.71
	Fibra	Poliéster	0.185	9,810	833.38
	Cadena SC	Studlink	0.1	9,864	1104.37
P20NL3AS45CIP1FSP P20NL3AS45CD1P1FSP P20NL3AS45CD2P1FSP	Cadena FC	Studlink	0.102	10,217	771.46
	Fibra	Poliéster	0.185	9,810	839.33
	Cadena SC	Studlink	0.097	9,343	1046.52
P20NL3AS45CIP2FSP P20NL3AS45CD1P2FSP P20NL3AS45CD2P2FSP	Cadena FC	Studlink	0.097	9,343	702.63
	Fibra	Poliéster	0.177	8,829	772.87
	Cadena SC	Studlink	0.095	9,001	1010.93
P20NL3AS46CIP0FSP P20NL3AS46CD1P0FSP P20NL3AS46CD2P0FSP	Cadena FC	Studlink	0.105	10,754	832.26
	Fibra	Poliéster	0.185	9,810	854.47
	Cadena SC	Studlink	0.1	9,864	1132.32
P20NL3AS46CIP1FSP P20NL3AS46CD1P1FSP P20NL3AS46CD2P1FSP	Cadena FC	Studlink	0.097	9,343	715.21
	Fibra	Poliéster	0.177	8,829	786.71
	Cadena SC	Studlink	0.095	9,001	1029.03
P20NL3AS46CIP2FSP P20NL3AS46CD1P2FSP P20NL3AS46CD2P2FSP	Cadena FC	Studlink	0.095	9,001	690.77
	Fibra	Poliéster	0.177	8,829	792.15
	Cadena SC	Studlink	0.092	8,497	971.74
P20NL3AS47CIP0FSP P20NL3AS47CD1P0FSP P20NL3AS47CD2P0FSP	Cadena FC	Studlink	0.105	10,754	853.27
	Fibra	Poliéster	0.185	9,810	876.04
	Cadena SC	Studlink	0.1	9,864	1160.96
P20NL3AS47CIP1FSP P20NL3AS47CD1P1FSP P20NL3AS47CD2P1FSP	Cadena FC	Studlink	0.097	9,343	733.14
	Fibra	Poliéster	0.177	8,829	806.44
	Cadena SC	Studlink	0.095	9,001	1054.83
P20NL3AS47CIP2FSP P20NL3AS47CD1P2FSP P20NL3AS47CD2P2FSP	Cadena FC	Studlink	0.095	9,001	707.97
	Fibra	Poliéster	0.177	8,829	811.88
	Cadena SC	Studlink	0.092	8,497	995.94



Tabla A.55. Propiedades geométricas del sistema de amarre para 2,000 m de tirante de agua y 4 líneas por columna.

Caso de estudio	Sección	Tipo	D (m)	MBL (KN)	Peso (TON)
P20NL4AS45CIP0FSP P20NL4AS45CD1P0FSP P20NL4AS45CD2P0FSP	Cadena FC	Studlink	0.09	8,167	795.15
	Fibra	Poliéster	0.168	7848	915.14
	Cadena SC	Studlink	0.087	7,682	1114.53
P20NL4AS45CIP1FSP P20NL4AS45CD1P1FSP P20NL4AS45CD2P1FSP	Cadena FC	Studlink	0.084	7,208	697.61
	Fibra	Poliéster	0.158	6,959	815.89
	Cadena SC	Studlink	0.081	6,745	973.00
P20NL4AS45CIP2FSP P20NL4AS45CD1P2FSP P20NL4AS45CD2P2FSP	Cadena FC	Studlink	0.084	7,208	702.55
	Fibra	Poliéster	0.158	6,959	821.67
	Cadena SC	Studlink	0.081	6,745	979.90
P20NL4AS46CIP0FSP P20NL4AS46CD1P0FSP P20NL4AS46CD2P0FSP	Cadena FC	Studlink	0.09	8,167	815.27
	Fibra	Poliéster	0.168	7,848	938.30
	Cadena SC	Studlink	0.087	7,682	1142.74
P20NL4AS46CIP1FSP P20NL4AS46CD1P1FSP P20NL4AS46CD2P1FSP	Cadena FC	Studlink	0.084	7,208	715.14
	Fibra	Poliéster	0.158	6,959	836.39
	Cadena SC	Studlink	0.081	6,745	997.45
P20NL4AS46CIP2FSP P20NL4AS46CD1P2FSP P20NL4AS46CD2P2FSP	Cadena FC	Studlink	0.084	6,745	669.56
	Fibra	Poliéster	0.158	6,180	767.33
	Cadena SC	Studlink	0.081	6,295	931.33
P20NL4AS47CIP0FSP P20NL4AS47CD1P0FSP P20NL4AS47CD2P0FSP	Cadena FC	Studlink	0.09	8,167	835.85
	Fibra	Poliéster	0.168	7,848	961.99
	Cadena SC	Studlink	0.087	7,682	1171.59
P20NL4AS47CIP1FSP P20NL4AS47CD1P1FSP P20NL4AS47CD2P1FSP	Cadena FC	Studlink	0.084	7,208	733.07
	Fibra	Poliéster	0.158	6,959	857.36
	Cadena SC	Studlink	0.081	6,745	1022.48
P20NL4AS47CIP2FSP P20NL4AS47CD1P2FSP P20NL4AS47CD2P2FSP	Cadena FC	Studlink	0.081	6,745	686.27
	Fibra	Poliéster	0.151	6,180	786.434
	Cadena SC	Studlink	0.078	6,295	954.52

Tabla A.56. Factores de seguridad mínimos para caso de estudio 3: 2,000 m de tirante de agua y 3 líneas.

Modelo	Análisis estático				Análisis dinámico			
	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	API-2RP-SK	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	API-2RP-SK
P20NL3AS45CIP0FSP	2.35	2.35	2.41	2.00	1.76	1.72	1.75	1.67
P20NL3AS45CD1P0FSP	1.73	1.69	1.72	1.43	1.33	1.27	1.29	1.25
P20NL3AS45CD2P0FSP	1.72	1.68	1.71	1.43	1.33	1.27	1.29	1.25
P20NL3AS45CIP1FSP	2.42	2.56	2.49	2.00	1.79	1.84	1.77	1.67
P20NL3AS45CD1P1FSP	1.79	1.83	1.78	1.43	1.33	1.34	1.29	1.25
P20NL3AS45CD2P1FSP	1.77	1.82	1.76	1.43	1.33	1.35	1.29	1.25
P20NL3AS45CIP2FSP	2.41	2.50	2.61	2.00	1.74	1.76	1.81	1.67
P20NL3AS45CD1P2FSP	1.78	1.80	1.86	1.43	1.31	1.30	1.33	1.25
P20NL3AS45CD2P2FSP	1.76	1.77	1.83	1.43	1.31	1.30	1.33	1.25
P20NL3AS46CIP0FSP	2.36	2.36	2.42	2.00	1.77	1.73	1.76	1.67
P20NL3AS46CD1P0FSP	1.74	1.70	1.73	1.43	1.34	1.29	1.30	1.25
P20NL3AS46CD2P0FSP	1.74	1.69	1.72	1.43	1.34	1.29	1.30	1.25
P20NL3AS46CIP1FSP	2.31	2.38	2.48	2.00	1.71	1.73	1.78	1.67
P20NL3AS46CD1P1FSP	1.70	1.71	1.77	1.43	1.28	1.26	1.30	1.25
P20NL3AS46CD2P1FSP	1.69	1.70	1.76	1.43	1.28	1.26	1.30	1.25
P20NL3AS46CIP2FSP	2.38	2.55	2.51	2.00	1.71	1.80	1.75	1.67
P20NL3AS46CD1P2FSP	1.75	1.83	1.79	1.43	1.29	1.32	1.28	1.25
P20NL3AS46CD2P2FSP	1.73	1.81	1.77	1.43	1.29	1.33	1.28	1.25
P20NL3AS47CIP0FSP	2.36	2.37	2.43	2.00	1.77	1.74	1.78	1.67
P20NL3AS47CD1P0FSP	1.75	1.71	1.74	1.43	1.36	1.30	1.32	1.25
P20NL3AS47CD2P0FSP	1.74	1.70	1.73	1.43	1.36	1.30	1.32	1.25
P20NL3AS47CIP1FSP	2.33	2.41	2.50	2.00	1.73	1.76	1.81	1.67
P20NL3AS47CD1P1FSP	1.72	1.73	1.79	1.43	1.29	1.28	1.31	1.25
P20NL3AS47CD2P1FSP	1.71	1.72	1.78	1.43	1.29	1.28	1.32	1.25
P20NL3AS47CIP2FSP	2.41	2.59	2.55	2.00	1.74	1.83	1.78	1.67
P20NL3AS47CD1P2FSP	1.77	1.86	1.82	1.43	1.30	1.34	1.30	1.25
P20NL3AS47CD2P2FSP	1.75	1.83	1.79	1.43	1.31	1.35	1.31	1.25

Tabla A.57. Factores de seguridad mínimos para caso de estudio 3: 2,000 m de tirante de agua y 4 líneas.

Modelo	Análisis estático				Análisis dinámico			
	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	API-2RP-SK	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	API-2RP-SK
P20NL4AS45CIP0FSP	2.34	2.45	2.46	2.00	1.71	1.81	1.78	1.67
P20NL4AS45CD1P0FSP	1.88	1.94	1.93	1.43	1.44	1.45	1.44	1.25
P20NL4AS45CD2P0FSP	1.87	1.93	1.92	1.43	1.44	1.46	1.44	1.25
P20NL4AS45CIP1FSP	2.30	2.42	2.40	2.00	1.68	1.74	1.70	1.67
P20NL4AS45CD1P1FSP	1.86	1.91	1.89	1.43	1.39	1.41	1.38	1.25
P20NL4AS45CD2P1FSP	1.84	1.89	1.87	1.43	1.37	1.40	1.36	1.25
P20NL4AS45CIP2FSP	2.42	2.56	2.54	2.00	1.71	1.77	1.73	1.67
P20NL4AS45CD1P2FSP	1.95	2.02	1.99	1.43	1.44	1.46	1.43	1.25
P20NL4AS45CD2P2FSP	1.92	1.98	1.96	1.43	1.39	1.42	1.39	1.25
P20NL4AS46CIP0FSP	2.35	2.46	2.47	2.00	1.72	1.81	1.80	1.67
P20NL4AS46CD1P0FSP	1.89	1.95	1.94	1.43	1.45	1.47	1.45	1.25
P20NL4AS46CD2P0FSP	1.88	1.94	1.93	1.43	1.45	1.47	1.45	1.25
P20NL4AS46CIP1FSP	2.33	2.45	2.43	2.00	1.70	1.76	1.72	1.67
P20NL4AS46CD1P1FSP	1.88	1.94	1.91	1.43	1.40	1.43	1.40	1.25
P20NL4AS46CD2P1FSP	1.86	1.92	1.89	1.43	1.39	1.42	1.38	1.25
P20NL4AS46CIP2FSP	2.46	2.60	2.58	2.00	1.74	1.80	1.76	1.67
P20NL4AS46CD1P2FSP	1.85	1.82	1.89	1.43	1.37	1.32	1.36	1.25
P20NL4AS46CD2P2FSP	1.82	1.79	1.86	1.43	1.33	1.29	1.32	1.25
P20NL4AS47CIP0FSP	2.35	2.47	2.48	2.00	1.72	1.82	1.81	1.67
P20NL4AS47CD1P0FSP	1.90	1.95	1.95	1.43	1.46	1.48	1.47	1.25
P20NL4AS47CD2P0FSP	1.89	1.95	1.94	1.43	1.47	1.48	1.47	1.25
P20NL4AS47CIP1FSP	2.35	2.48	2.46	2.00	1.72	1.79	1.75	1.67
P20NL4AS47CD1P1FSP	1.90	1.96	1.93	1.43	1.42	1.45	1.42	1.25
P20NL4AS47CD2P1FSP	1.88	1.94	1.91	1.43	1.41	1.44	1.40	1.25
P20NL4AS47CIP2FSP	2.40	2.40	2.50	2.00	1.71	1.69	1.73	1.67
P20NL4AS47CD1P2FSP	1.93	1.89	1.96	1.43	1.43	1.39	1.42	1.25
P20NL4AS47CD2P2FSP	1.91	1.87	1.94	1.43	1.39	1.35	1.39	1.25

Tabla A.58. Revisión de desplazamientos para caso de estudio 3: 2,000 m de tirante de agua y 3 líneas.

Modelo	Análisis estático			Análisis dinámico		
	Desp hor (m)	6% tirante (120 m)	8% tirante (160 m)	Desp hor (m)	6% tirante (120 m)	8% tirante (160 m)
P20NL3AS45CIP0FSP	51.07	cumple	cumple	75.70	cumple	cumple
P20NL3AS45CD1P0FSP	72.09	cumple	cumple	96.59	cumple	cumple
P20NL3AS45CD2P0FSP	71.26	cumple	cumple	95.23	cumple	cumple
P20NL3AS45CIP1FSP	80.82	cumple	cumple	105.63	cumple	cumple
P20NL3AS45CD1P1FSP	97.03	cumple	cumple	124.75	no cumple	cumple
P20NL3AS45CD2P1FSP	95.11	cumple	cumple	122.18	no cumple	cumple
P20NL3AS45CIP2FSP	115.50	cumple	cumple	141.98	no cumple	cumple
P20NL3AS45CD1P2FSP	131.88	no cumple	cumple	161.06	no cumple	no cumple
P20NL3AS45CD2P2FSP	129.80	no cumple	cumple	157.51	no cumple	no cumple
P20NL3AS46CIP0FSP	50.27	cumple	cumple	74.63	cumple	cumple
P20NL3AS46CD1P0FSP	71.30	cumple	cumple	95.48	cumple	cumple
P20NL3AS46CD2P0FSP	70.51	cumple	cumple	94.08	cumple	cumple
P20NL3AS46CIP1FSP	83.04	cumple	cumple	108.34	cumple	cumple
P20NL3AS46CD1P1FSP	100.48	cumple	cumple	129.12	no cumple	cumple
P20NL3AS46CD2P1FSP	98.58	cumple	cumple	126.50	no cumple	cumple
P20NL3AS46CIP2FSP	112.90	cumple	cumple	139.20	no cumple	cumple
P20NL3AS46CD1P2FSP	129.29	no cumple	cumple	158.33	no cumple	cumple
P20NL3AS46CD2P2FSP	127.20	no cumple	cumple	154.78	no cumple	cumple
P20NL3AS47CIP0FSP	49.62	cumple	cumple	73.75	cumple	cumple
P20NL3AS47CD1P0FSP	70.72	cumple	cumple	94.62	cumple	cumple
P20NL3AS47CD2P0FSP	69.96	cumple	cumple	93.21	cumple	cumple
P20NL3AS47CIP1FSP	81.16	cumple	cumple	106.38	cumple	cumple
P20NL3AS47CD1P1FSP	98.80	cumple	cumple	127.18	no cumple	cumple
P20NL3AS47CD2P1FSP	96.96	cumple	cumple	124.60	no cumple	cumple
P20NL3AS47CIP2FSP	109.81	cumple	cumple	136.22	no cumple	cumple
P20NL3AS47CD1P2FSP	126.47	no cumple	cumple	155.42	no cumple	cumple
P20NL3AS47CD2P2FSP	124.41	no cumple	cumple	151.94	no cumple	cumple

Tabla A.59. Revisión .de desplazamientos para caso de estudio 3: 2,000 m de tirante de agua y 4 líneas.

Modelo	Análisis estático			Análisis dinámico		
	Desp hor (m)	6% tirante (120 m)	8% tirante (160 m)	Desp hor (m)	6% tirante (120 m)	8% tirante (160 m)
P20NL4AS45CIP0FSP	49.15	cumple	cumple	72.87	cumple	cumple
P20NL4AS45CD1P0FSP	63.07	cumple	cumple	86.35	cumple	cumple
P20NL4AS45CD2P0FSP	62.48	cumple	cumple	85.28	cumple	cumple
P20NL4AS45CIP1FSP	83.63	cumple	cumple	108.30	cumple	cumple
P20NL4AS45CD1P1FSP	94.61	cumple	cumple	121.84	no cumple	cumple
P20NL4AS45CD2P1FSP	92.81	cumple	cumple	120.12	no cumple	cumple
P20NL4AS45CIP2FSP	114.02	cumple	cumple	139.75	no cumple	cumple
P20NL4AS45CD1P2FSP	125.81	no cumple	cumple	152.98	no cumple	cumple
P20NL4AS45CD2P2FSP	123.54	no cumple	cumple	150.54	no cumple	cumple
P20NL4AS46CIP0FSP	48.34	cumple	cumple	71.80	cumple	cumple
P20NL4AS46CD1P0FSP	62.30	cumple	cumple	85.27	cumple	cumple
P20NL4AS46CD2P0FSP	61.73	cumple	cumple	84.24	cumple	cumple
P20NL4AS46CIP1FSP	81.58	cumple	cumple	106.15	cumple	cumple
P20NL4AS46CD1P1FSP	92.66	cumple	cumple	119.64	cumple	cumple
P20NL4AS46CD2P1FSP	90.88	cumple	cumple	117.92	cumple	cumple
P20NL4AS46CIP2FSP	110.68	cumple	cumple	136.47	no cumple	cumple
P20NL4AS46CD1P2FSP	122.65	no cumple	cumple	149.79	no cumple	cumple
P20NL4AS46CD2P2FSP	120.40	no cumple	cumple	147.37	no cumple	cumple
P20NL4AS47CIP0FSP	47.71	cumple	cumple	70.93	cumple	cumple
P20NL4AS47CD1P0FSP	61.75	cumple	cumple	84.47	cumple	cumple
P20NL4AS47CD2P0FSP	61.19	cumple	cumple	83.47	cumple	cumple
P20NL4AS47CIP1FSP	79.73	cumple	cumple	104.23	cumple	cumple
P20NL4AS47CD1P1FSP	90.96	cumple	cumple	117.76	cumple	cumple
P20NL4AS47CD2P1FSP	89.30	cumple	cumple	116.07	cumple	cumple
P20NL4AS47CIP2FSP	112.90	cumple	cumple	139.80	no cumple	cumple
P20NL4AS47CD1P2FSP	125.56	no cumple	cumple	153.87	no cumple	cumple
P20NL4AS47CD2P2FSP	123.28	no cumple	cumple	151.40	no cumple	cumple



Tabla A.60. Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos, 2,000 m de tirante de agua y 3 líneas.

Modelo	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	Desplazamiento horizontal
P20NL3AS45CIP0FSP	1.40	1.44	1.46	1.54
P20NL3AS45CD1P0FSP	1.36	1.39	1.40	1.43
P20NL3AS45CD2P0FSP	1.36	1.39	1.40	1.43
P20NL3AS45CIP1FSP	1.44	1.49	1.51	1.37
P20NL3AS45CD1P1FSP	1.41	1.44	1.45	1.33
P20NL3AS45CD2P1FSP	1.41	1.44	1.45	1.33
P20NL3AS45CIP2FSP	1.47	1.52	1.55	1.29
P20NL3AS45CD1P2FSP	1.44	1.47	1.48	1.26
P20NL3AS45CD2P2FSP	1.43	1.47	1.48	1.27
P20NL3AS46CIP0FSP	1.40	1.44	1.45	1.54
P20NL3AS46CD1P0FSP	1.35	1.38	1.39	1.42
P20NL3AS46CD2P0FSP	1.35	1.38	1.39	1.42
P20NL3AS46CIP1FSP	1.43	1.47	1.49	1.34
P20NL3AS46CD1P1FSP	1.40	1.42	1.44	1.33
P20NL3AS46CD2P1FSP	1.40	1.42	1.44	1.33
P20NL3AS46CIP2FSP	1.47	1.52	1.54	1.29
P20NL3AS46CD1P2FSP	1.44	1.47	1.48	1.27
P20NL3AS46CD2P2FSP	1.44	1.47	1.48	1.27
P20NL3AS47CIP0FSP	1.40	1.43	1.44	1.54
P20NL3AS47CD1P0FSP	1.35	1.37	1.38	1.42
P20NL3AS47CD2P0FSP	1.34	1.37	1.38	1.42
P20NL3AS47CIP1FSP	1.42	1.46	1.48	1.38
P20NL3AS47CD1P1FSP	1.39	1.42	1.43	1.33
P20NL3AS47CD2P1FSP	1.39	1.42	1.43	1.33
P20NL3AS47CIP2FSP	1.47	1.51	1.54	1.30
P20NL3AS47CD1P2FSP	1.43	1.46	1.48	1.27
P20NL3AS47CD2P2FSP	1.43	1.46	1.48	1.27

Tabla A.61. Relaciones dinámicas-estáticas de fuerzas de tensión y desplazamientos, 2,000 m de tirante de agua y 4 líneas.

Modelo	Cadena FC	Fibra	Cadena SC	Desplazamiento horizontal
P20NL4AS45CIP0FSP	1.43	1.45	1.46	1.55
P20NL4AS45CD1P0FSP	1.37	1.40	1.42	1.46
P20NL4AS45CD2P0FSP	1.37	1.40	1.42	1.46
P20NL4AS45CIP1FSP	1.45	1.48	1.51	1.37
P20NL4AS45CD1P1FSP	1.42	1.45	1.47	1.33
P20NL4AS45CD2P1FSP	1.42	1.45	1.47	1.34
P20NL4AS45CIP2FSP	1.48	1.52	1.55	1.29
P20NL4AS45CD1P2FSP	1.46	1.49	1.51	1.27
P20NL4AS45CD2P2FSP	1.45	1.49	1.51	1.27
P20NL4AS46CIP0FSP	1.43	1.44	1.46	1.55
P20NL4AS46CD1P0FSP	1.37	1.39	1.41	1.46
P20NL4AS46CD2P0FSP	1.37	1.39	1.41	1.46
P20NL4AS46CIP1FSP	1.44	1.48	1.50	1.38
P20NL4AS46CD1P1FSP	1.42	1.44	1.46	1.34
P20NL4AS46CD2P1FSP	1.42	1.44	1.46	1.34
P20NL4AS46CIP2FSP	1.48	1.52	1.55	1.30
P20NL4AS46CD1P2FSP	1.45	1.48	1.50	1.27
P20NL4AS46CD2P2FSP	1.45	1.48	1.50	1.28
P20NL4AS47CIP0FSP	1.43	1.43	1.45	1.55
P20NL4AS47CD1P0FSP	1.36	1.39	1.40	1.45
P20NL4AS47CD2P0FSP	1.36	1.38	1.40	1.45
P20NL4AS47CIP1FSP	1.43	1.47	1.49	1.38
P20NL4AS47CD1P1FSP	1.41	1.44	1.45	1.34
P20NL4AS47CD2P1FSP	1.41	1.44	1.45	1.34
P20NL4AS47CIP2FSP	1.47	1.50	1.53	1.30
P20NL4AS47CD1P2FSP	1.45	1.47	1.49	1.28
P20NL4AS47CD2P2FSP	1.45	1.47	1.49	1.28

## Anexo B. Resultados de elemento finito de eslabones

Tablas resúmenes de los incrementos de desplazamientos con sus respectivas cargas, y esfuerzos, así también, de las gráficas Carga-Primer Esfuerzo Principal.

### B.1 Studless

SL\_R3\_81

Tabla B.1. Resultados del modelo SL\_R3\_81

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0	
1	0.020	1.00	0.47	237.80	23.07	98.54	4.27
2	0.040	2.00	0.98	534.76	51.89	264.15	5.09
3	0.070	3.50	1.75	969.56	94.08	403.00	4.28
4	0.100	5.00	2.57	1340.64	130.08	453.34	3.48
5	0.130	6.50	3.52	1553.40	150.73	467.56	3.10
6	0.160	8.00	4.49	1694.64	164.43	480.88	2.92
7	0.205	10.25	5.93	1832.88	177.85	488.80	2.75
8	0.250	12.50	7.37	1931.76	187.44	491.64	2.62
9	0.318	15.88	9.53	2043.52	198.28	493.26	2.49
10	0.385	19.25	11.63	2143.84	208.02	495.34	2.38
11	0.486	24.31	14.83	2266.92	219.96	514.54	2.34
12	0.588	29.38	18.09	2358.52	228.85	532.60	2.33
13	0.689	34.44	21.25	2432.76	236.05	547.66	2.32
14	0.695	34.75	21.45	2437.32	236.50	548.56	2.32
15	0.701	35.07	21.65	2443.00	237.05	549.446	2.32
16	0.708	35.39	21.84	2446.40	237.38	550.294	2.32
17	0.709	35.47	21.90	2448.24	237.55	550.723	2.32
18	0.711	35.55	21.94	2448.28	237.56	550.735	2.32
19	0.712	35.62	21.99	2449.60	237.69	550.953	2.32
20	0.713	35.67	22.02	2450.20	237.75	551.093	2.32
21	0.714	35.72	22.05	2451.40	237.86	551.351	2.32
22	0.715	35.77	22.08	2452.08	237.93	552	2.32

Tabla B.2. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R3\_81

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	5.8941	-0.0017	<38%
Segunda	2.32	0	>38%

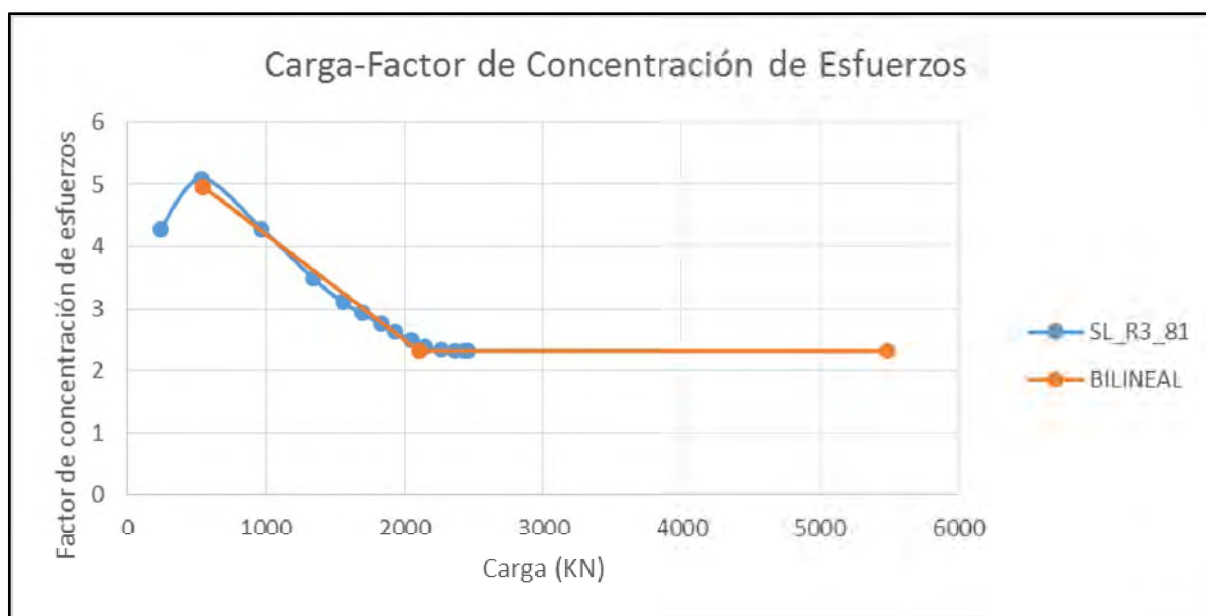


Figura B.1. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R3\_81

SL\_R3\_100

Tabla B.3. Resultados del modelo SL\_R3\_100

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0	0	0	0	0.00	0	
1	0.02	1.00	0.32	288.14	18.34	78.70	4.29
2	0.04	2.00	0.68	652.16	41.52	210.77	5.08
3	0.06	3.00	1.04	1028.36	65.47	278.31	4.25
4	0.08	4.00	1.41	1398.84	89.05	379.15	4.26
5	0.11	5.50	1.97	1885.16	120.01	447.31	3.73
6	0.14	7.00	2.61	2221.80	141.44	460.54	3.26
7	0.17	8.50	3.32	2439.32	155.29	474.45	3.06
8	0.22	10.75	4.45	2660.72	169.39	483.67	2.86
9	0.28	14.13	6.26	2875.80	183.08	489.22	2.67
10	0.35	17.50	8.17	3034.08	193.16	491.32	2.54
11	0.42	20.88	10.10	3166.92	201.61	492.72	2.44
12	0.49	24.25	12.16	3272.76	208.35	499.15	2.40
13	0.55	27.63	14.20	3354.60	213.56	511.12	2.39
14	0.62	31.00	16.20	3423.48	217.95	521.25	2.39
15	0.64	31.84	16.69	3439.88	218.99	523.63	2.39
16	0.65	32.69	17.19	3455.64	219.99	525.94	2.39

Tabla B.4. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R3\_100

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	5.57342	-0.00101	<38%
Segunda	2.40	0	>38%



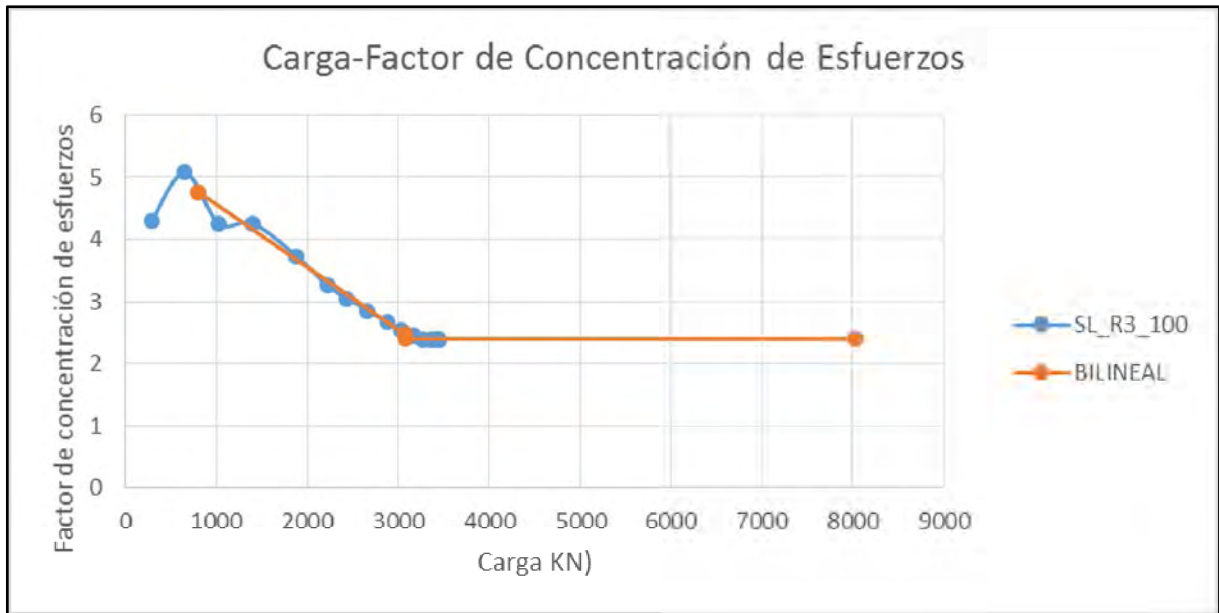


Figura B.2. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R3\_100

Tabla B.5. Resultados del modelo SL\_R3\_120

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0	
1	0.020	1.00	0.29	320.50	14.17	64.81	4.57
2	0.040	2.00	0.65	749.52	33.14	161.08	4.86
3	0.060	3.00	1.01	1202.16	53.15	269.46	5.07
4	0.090	4.50	1.56	1858.72	82.17	349.63	4.25
5	0.120	6.00	2.12	2492.40	110.19	439.47	3.99
6	0.150	7.50	2.72	2995.16	132.42	455.84	3.44
7	0.180	9.00	3.39	3318.00	146.69	467.16	3.18
8	0.210	10.50	4.12	3558.96	157.34	475.27	3.02
9	0.255	12.75	5.25	3822.80	169.00	484.10	2.86
10	0.300	15.00	6.45	4018.00	177.63	489.13	2.75
11	0.368	18.38	8.32	4232.40	187.11	492.01	2.63
12	0.401	20.06	9.31	4324.00	191.16	492.89	2.58
13	0.435	21.75	10.36	4397.60	194.42	493.35	2.54

Tabla B.6. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R3\_120

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	5.62951	-0.00071	<40%
Segunda	-	-	

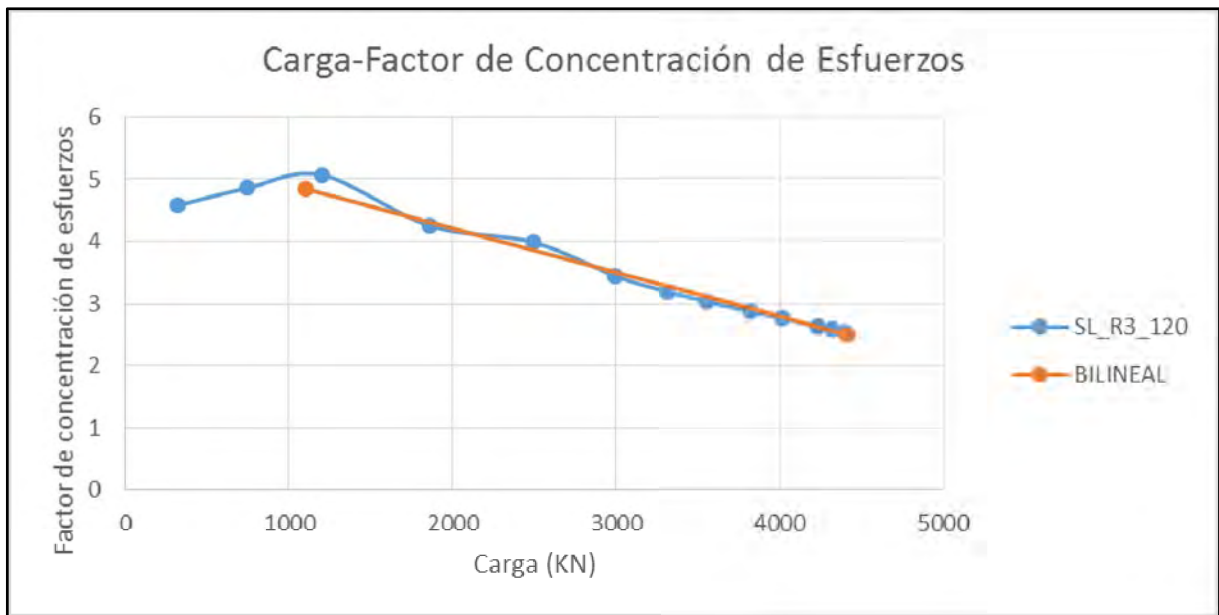


Figura B.3. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R3\_120

Tabla B.7. Resultados del modelo SL\_R4\_81

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0	
1	0.020	1.00	0.45	261.27	25.35	110.55	4.36
2	0.040	2.00	0.97	606.08	58.81	250.06	4.25
3	0.070	3.50	1.74	1136.32	110.26	468.71	4.25
4	0.115	5.75	2.95	1845.80	179.10	643.95	3.60
5	0.160	8.00	4.37	2243.16	217.66	662.87	3.05
6	0.205	10.25	5.84	2484.88	241.11	683.76	2.84
7	0.273	13.63	7.98	2715.44	263.48	696.36	2.64
8	0.340	17.00	10.10	2885.20	279.95	701.23	2.50
9	0.441	22.06	13.22	3089.44	299.77	711.33	2.37
10	0.543	27.13	16.47	3249.96	315.35	738.20	2.34
11	0.644	32.19	19.66	3370.20	327.01	765.64	2.34
12	0.694	34.72	21.23	3423.84	332.22	774.16	2.33
13	0.713	35.67	21.81	3443.28	334.10	778.15	2.33
14	0.723	36.14	22.11	3452.96	335.04	780.11	2.33
15	0.732	36.62	22.40	3462.16	335.94	782.06	2.33
16	0.742	37.09	22.69	3471.44	336.84	784.00	2.33
17	0.751	37.57	22.99	3480.84	337.75	785.92	2.33
18	0.761	38.04	23.28	3489.88	338.63	787.99	2.33
19	0.770	38.52	23.57	3498.92	339.50	790.21	2.33
20	0.780	38.99	23.86	3507.68	340.35	792.25	2.33
21	0.783	39.17	23.97	3511.04	340.68	793.07	2.33
22	0.786	39.30	24.05	3513.56	340.92	793.69	2.33

Tabla B.8. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R4\_81

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	5.27023	-0.00095	<45%
Segunda	2.33	0	>45%

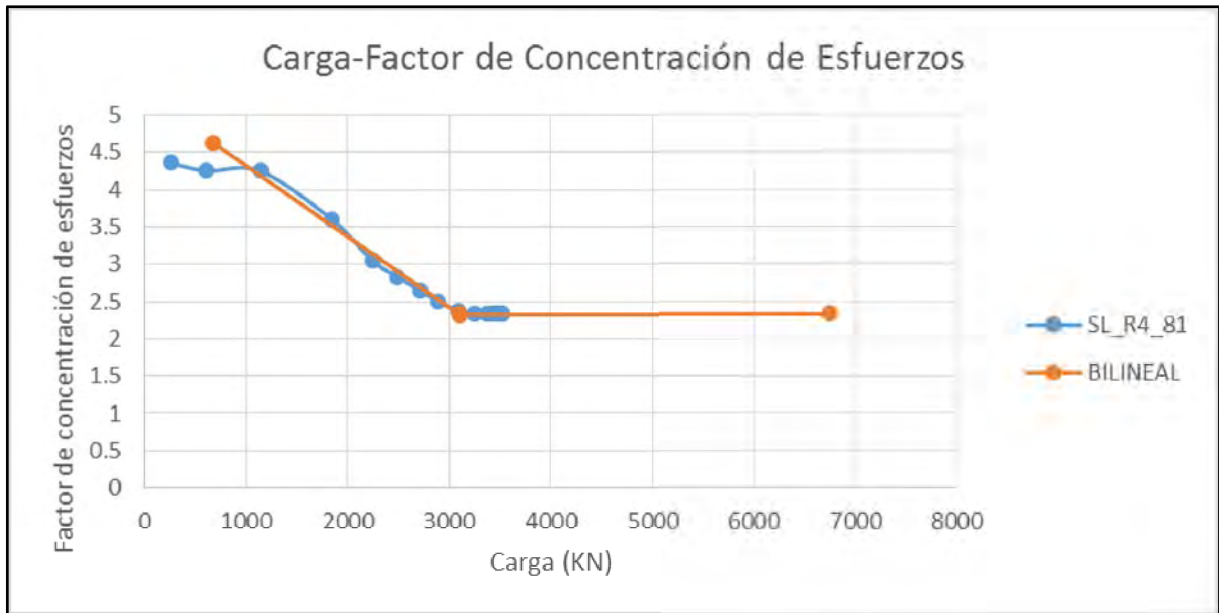


Figura B.4. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL-R4\_81

SL\_R4\_100

Tabla B.9. Resultados del modelo SL\_R4\_100

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.00	0	0	0	0.00	0	
1	0.02	1.00	0.32	314.34	20.01	87.52	4.37
2	0.04	2.00	0.70	733.48	46.69	199.10	4.26
3	0.07	3.50	1.27	1394.48	88.78	375.41	4.23
4	0.10	5.00	1.86	2053.24	130.71	559.19	4.28
5	0.15	7.25	2.76	2888.36	183.88	640.10	3.48
6	0.19	9.50	3.81	3377.44	215.01	663.56	3.09
7	0.24	11.75	4.97	3697.24	235.37	680.14	2.89
8	0.30	15.13	6.78	4020.80	255.97	691.83	2.70
9	0.37	18.50	8.67	4258.00	271.07	697.59	2.57
10	0.47	23.56	11.57	4527.60	288.24	702.13	2.44
11	0.57	28.63	14.63	4723.60	300.71	722.23	2.40
12	0.62	31.16	16.13	4803.20	305.78	734.20	2.40

Tabla B.10. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R4\_100

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	5.68148	-0.00074	<45%
Segunda	2.40	0	>45%



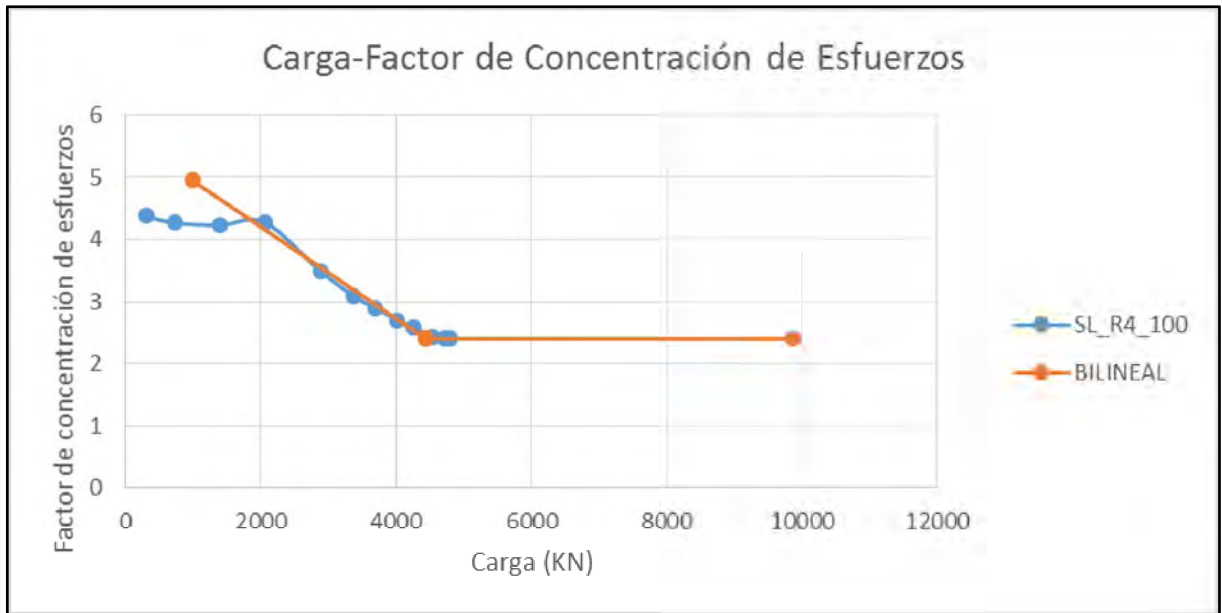


Figura B.5. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R4\_100

SL\_R4\_120

Tabla B.11. Resultados del modelo SL\_R4\_120

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0	
1	0.020	1.00	0.12	349.15	15.44	70.71	4.58
2	0.040	2.00	0.28	845.00	37.36	160.58	4.30
3	0.070	3.50	0.54	1631.88	72.14	305.88	4.24
4	0.100	5.00	0.82	2435.28	107.66	457.23	4.25
5	0.145	7.25	1.23	3558.56	157.32	624.09	3.97
6	0.190	9.50	1.70	4422.80	195.53	647.40	3.31
7	0.258	12.88	2.61	5119.20	226.32	672.95	2.97
8	0.325	16.25	3.72	5590.80	247.17	687.63	2.78
9	0.393	19.63	4.94	5926.00	261.99	695.89	2.66
10	0.494	24.69	6.96	6251.60	276.38	701.22	2.54
11	0.595	29.75	8.98	6466.40	285.88	705.37	2.47
12	0.671	33.55	10.48	6600.80	291.82	721.61	2.47
13	0.728	36.39	11.60	6692.80	295.89	733.07	2.48
14	0.785	39.24	12.73	6779.60	299.72	744.11	2.48
15	0.813	40.67	13.29	6821.20	301.56	749.52	2.49
16	0.817	40.84	13.36	6826.40	301.79	750.20	2.49

Tabla B.12. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R4\_120

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	5.48948	-0.00048	<45%
Segunda	2.48	0	>45%

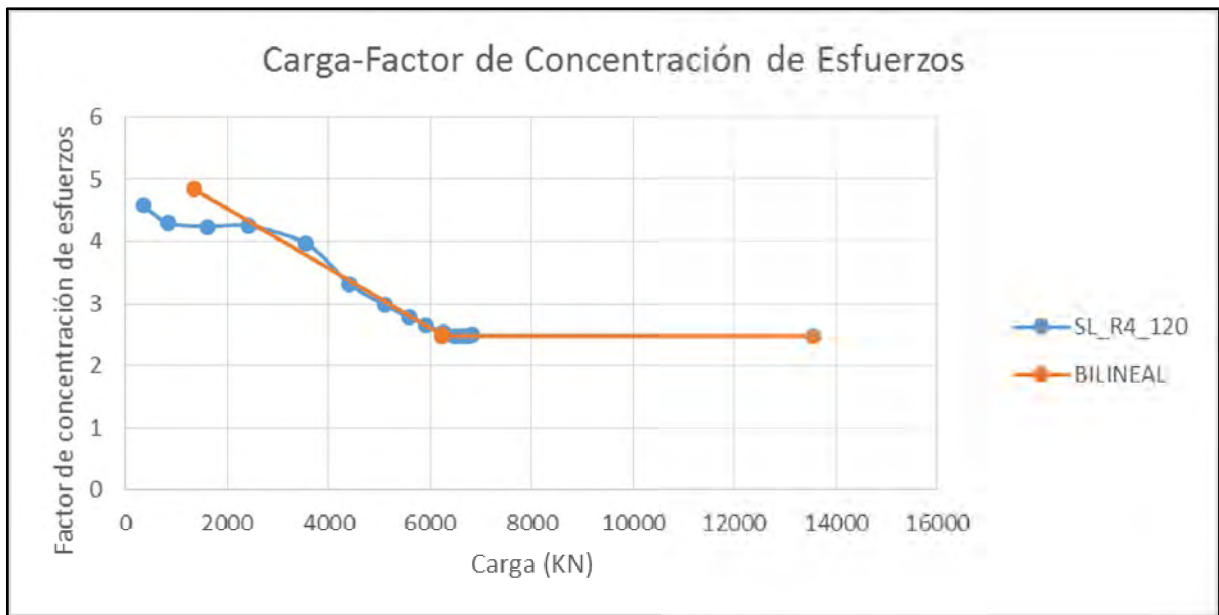


Figura B.6. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R4\_120

SL\_R5\_81

Tabla B.13. Resultados del modelo SL\_R5\_81

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0	
1	0.020	1.00	0.44	274.37	26.62	162.12	6.09
2	0.040	2.00	0.96	651.88	63.25	272.52	4.31
3	0.070	3.50	1.74	1249.76	121.27	516.44	4.26
4	0.100	5.00	2.53	1843.92	178.92	757.07	4.23
5	0.145	7.25	3.79	2579.96	250.34	843.79	3.37
6	0.190	9.50	5.24	2980.36	289.19	868.79	3.00
7	0.235	11.75	6.72	3248.52	315.21	891.41	2.83
8	0.303	15.13	8.91	3518.08	341.36	907.95	2.66
9	0.370	18.50	11.02	3725.00	361.44	916.80	2.54
10	0.438	21.88	13.12	3897.40	378.17	917.27	2.43
11	0.477	23.86	14.41	3984.88	386.66	918.33	2.38
12	0.517	25.85	15.75	4054.00	393.36	918.80	2.34
13	0.576	28.82	17.72	4136.00	401.32	921.50	2.30
14	0.636	31.80	19.63	4206.00	408.11	935.41	2.29
15	0.696	34.78	21.5302	4269.6	414.28	948.07	2.29
16	0.707	35.34	21.8818	4281.6	415.45	950.373	2.29
17	0.718	35.90	22.2368	4292.8	416.53	952.64	2.29
18	0.721	36.04	22.3257	4295.6	416.81	953.198	2.29
19	0.722	36.09	22.3499	4298.4	417.08	953.072	2.29
20	0.723	36.14	22.3829	4299.6	417.19	953.639	2.29
21	0.724	36.19	22.4196	4300	417.23	953.608	2.29
22	0.725	36.24	22.4525	4299.6	417.19	954.021	2.29

Tabla B.14. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R5\_81

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	5.34135	-0.00075	<52%
Segunda	2.29	0	>52%

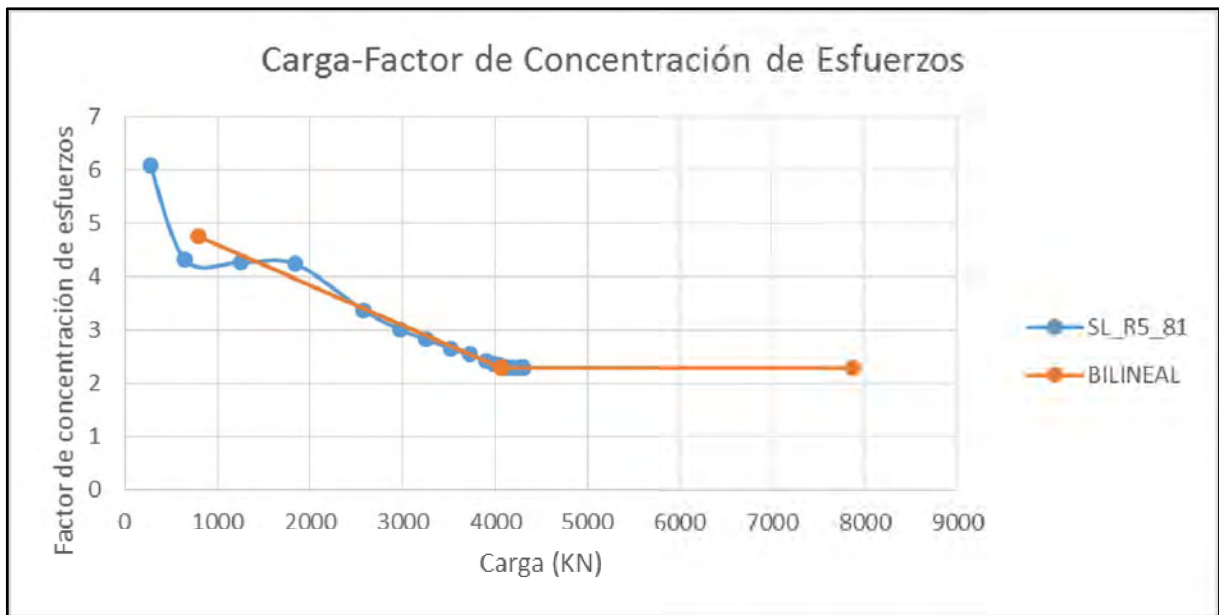


Figura B.7. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL-R5\_81

SL\_R5\_100

Tabla B.15. Resultados del modelo SL\_R5\_100

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0	
1	0.010	0.50	0.14	131.024	8.34	268.75	32.22
2	0.020	1.00	0.32	331.044	21.07	92.94	4.41
3	0.035	1.75	0.61	672.64	42.82	185.64	4.34
4	0.058	2.88	1.06	1219.2	77.62	331.76	4.27
5	0.091	4.56	1.74	2051.76	130.62	555.30	4.25
6	0.125	6.25	2.43	2879.56	183.32	777.86	4.24
7	0.159	7.94	3.13	3625.28	230.79	834.72	3.62
8	0.209	10.47	4.29	4319.6	274.99	859.54	3.13
9	0.260	13.00	5.60	4754.4	302.67	884.84	2.92
10	0.336	16.80	7.66	5198	330.91	901.46	2.72
11	0.412	20.59	9.79	5522.4	351.57	909.90	2.59
12	0.488	24.39	12.03	5768.4	367.23	914.61	2.49
13	0.573	28.65	14.64	5951.2	378.87	916.54	2.42
14	0.658	32.91	17.19	6087.2	387.52	917.44	2.37
15	0.666	33.31	17.43	6098.8	388.26	914.51	2.36

Tabla B.16. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R5\_100

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	5.66065	-0.00055	<52%
Segunda	-	-	>52%



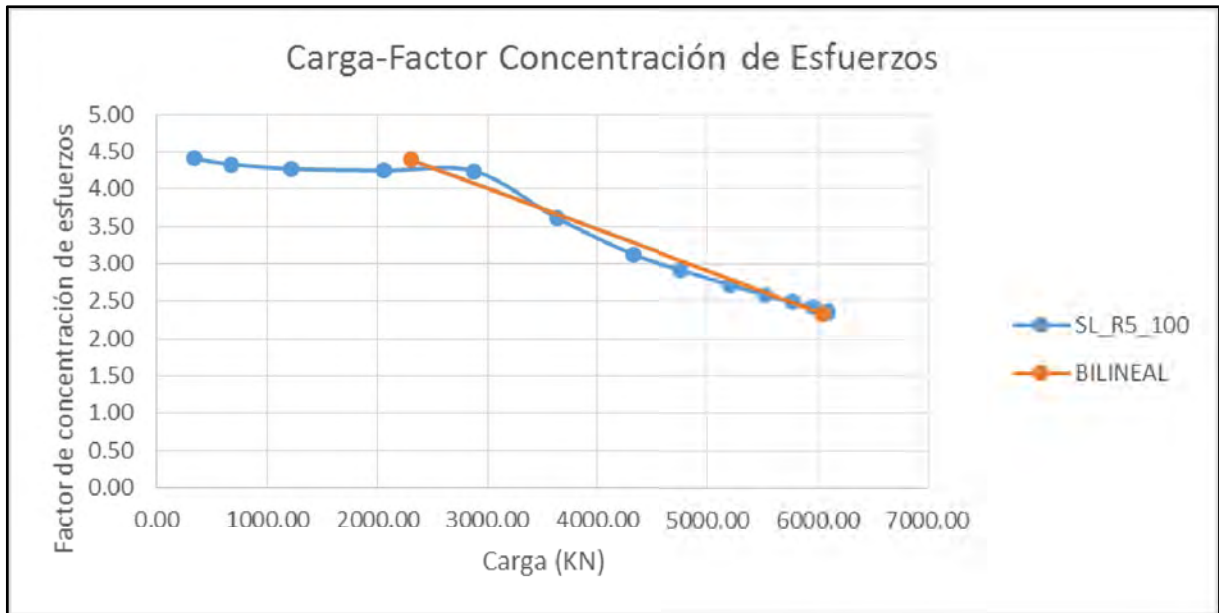


Figura B.8. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R5\_100

SL\_R5\_120

Tabla B.17. Resultados del modelo SL\_R5\_120

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0	
1	0.020	1.00	0.13	368.37	16.29	141.04	8.66
2	0.040	2.00	0.31	906.44	40.07	174.40	4.35
3	0.070	3.50	0.59	1774.76	78.46	335.96	4.28
4	0.100	5.00	0.90	2674.12	118.22	503.29	4.26
5	0.145	7.25	1.35	3986.00	176.22	753.12	4.27
6	0.190	9.50	1.83	5198.40	229.82	831.81	3.62
7	0.235	11.75	2.37	6024.40	266.34	854.39	3.21
8	0.280	14.00	3.01	6560.80	290.05	875.32	3.02
9	0.348	17.38	4.11	7134.00	315.39	891.16	2.83
10	0.415	20.75	5.33	7563.60	334.38	904.64	2.71
11	0.488	24.40	6.79	7876.80	348.23	912.21	2.62
12	0.561	28.04	8.24	8076.80	357.07	915.28	2.56
13	0.634	31.69	9.67	8231.60	363.92	916.59	2.52
14	0.661	33.06	10.21	8284.00	366.23	916.84	2.50

Tabla B.18. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R5\_120

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	5.702	-0.00039	<52%
Segunda	-	-	>52%

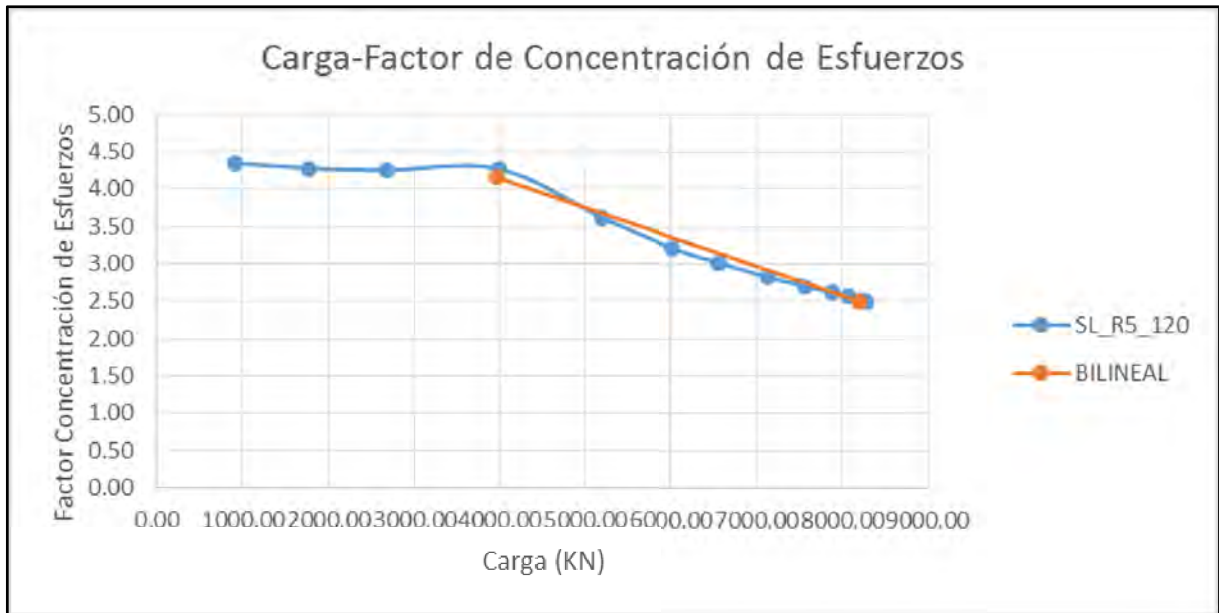


Figura B.9. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SL\_R5\_120

## B.2 Studlink

SK\_R3\_81

Tabla B.19. Resultados del modelo SK\_R3\_81

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0	
1	0.020	1.00	0.34	135.60	13.16	126.51	9.61
2	0.040	2.00	0.65	296.36	28.76	207.08	7.20
3	0.070	3.50	1.12	603.00	58.51	378.09	6.46
4	0.115	5.75	1.77	1093.96	106.15	452.37	4.26
5	0.160	8.00	2.26	1422.76	138.05	469.54	3.40
6	0.228	11.38	2.82	1586.72	153.96	525.82	3.42
7	0.329	16.44	3.81	1719.92	166.89	596.17	3.57
8	0.430	21.50	5.10	1819.28	176.53	635.25	3.60
9	0.506	25.30	6.43	1884.92	182.90	637.18	3.48
10	0.582	29.09	7.98	1941.00	188.34	696.80	3.70
11	0.696	34.79	10.39	2001.28	194.19	708.29	3.65
12	0.810	40.48	12.92	2054.84	199.38	700.21	3.51
13	0.905	45.24	15.05	2097.56	203.53	726.94	3.57
14	1.000	50.00	17.23	2137.88	207.44	767.00	3.70

Tabla B.20. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R3\_81

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	9.3158	-0.0044	<24%
Segunda	3.56	0.00	>24%

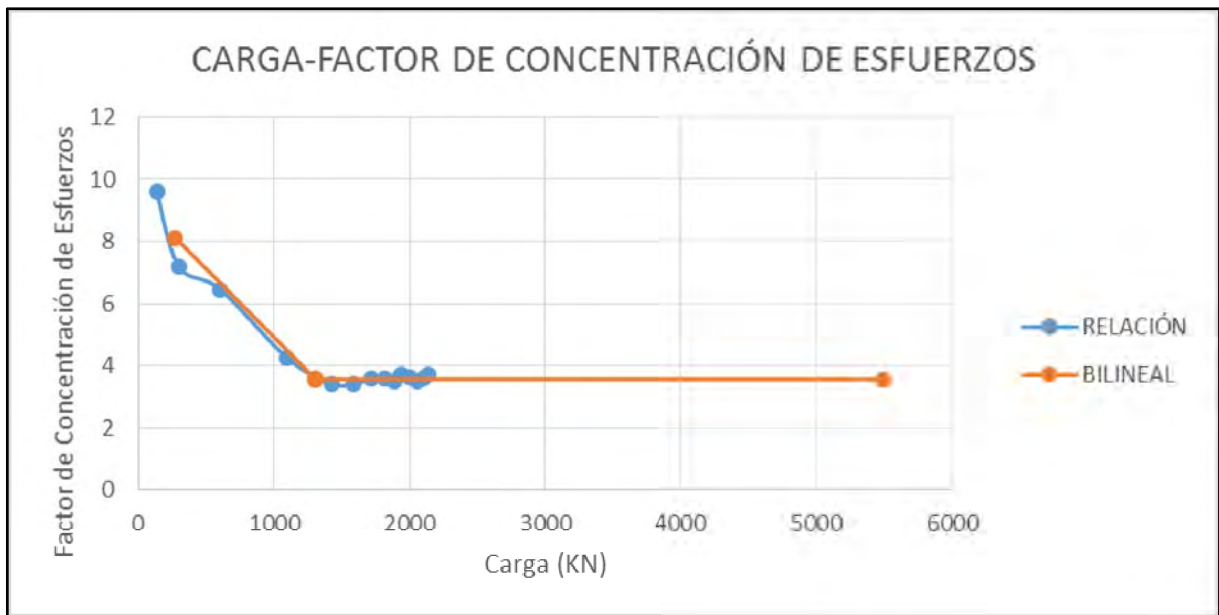


Figura B.10. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R3\_81

Tabla B.21. Resultados del modelo SK\_R3\_100

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0	
1	0.010	1.00	0.32	256.18	16.31	128.51	7.88
2	0.020	2.00	0.63	566.04	36.04	161.82	4.49
3	0.035	3.50	1.10	1038.48	66.11	291.39	4.41
4	0.575	57.50	1.77	1718.44	109.40	444.44	4.06
5	0.913	91.25	2.40	2360.48	150.27	457.79	3.05
6	0.125	12.50	2.75	2663.16	169.54	474.46	2.80
7	0.159	15.88	3.15	2867.92	182.58	490.71	2.69
8	0.209	20.94	3.86	3114.64	198.28	596.87	3.01
9	0.260	26.00	4.87	3337.64	212.48	613.47	2.89
10	0.311	31.06	6.06	3511.36	223.54	610.22	2.73
11	0.361	36.13	7.39	3646.04	232.11	608.09	2.62
12	0.412	41.19	8.90	3767.20	239.83	625.06	2.61
13	0.463	46.25	10.53	3871.88	246.49	689.90	2.80
14	0.488	48.78	11.35	3924.52	249.84	673.50	2.70
15	0.507	50.68	11.982	3960.76	252.15	673.941	2.67
16	0.526	52.58	12.643	3994.76	254.31	683.228	2.69
17	0.545	54.48	13.314	4027.6	256.40	694.852	2.71
18	0.564	56.38	14.004	4058.8	258.39	705.648	2.73
19	0.583	58.27	14.71	4090	260.38	714.549	2.74
20	0.602	60.17	15.414	4121.6	262.39	717.802	2.74
21	0.616	61.60	15.956	4145.2	263.89	720.073	2.73
22	0.623	62.31	16.225	4157.2	264.66	721.182	2.72
23	0.630	63.02	16.491	4168.8	265.39	722.775	2.72
24	0.637	63.73	16.759	4180	266.11	724.632	2.72
25	0.644	64.44	17.027	4191.2	266.82	726.479	2.72
26	0.650	64.98	17.232	4200	267.38	727.389	2.72
27	0.654	65.38	17.388	4207.2	267.84	727.935	2.72
29	0.662	66.18	17.693	4218.8	268.58	729.498	2.72
36	0.671	67.08	18.038	4232.8	269.47	731.515	2.71
46	0.681	68.08	18.428	4247.6	270.41	733.779	2.71
50	0.685	68.48	18.582	4254	270.82	734.509	2.71



Tabla B.22. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R3\_100

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	5.0809	-0.0008	<38%
Segunda	2.72	0.0	>38%

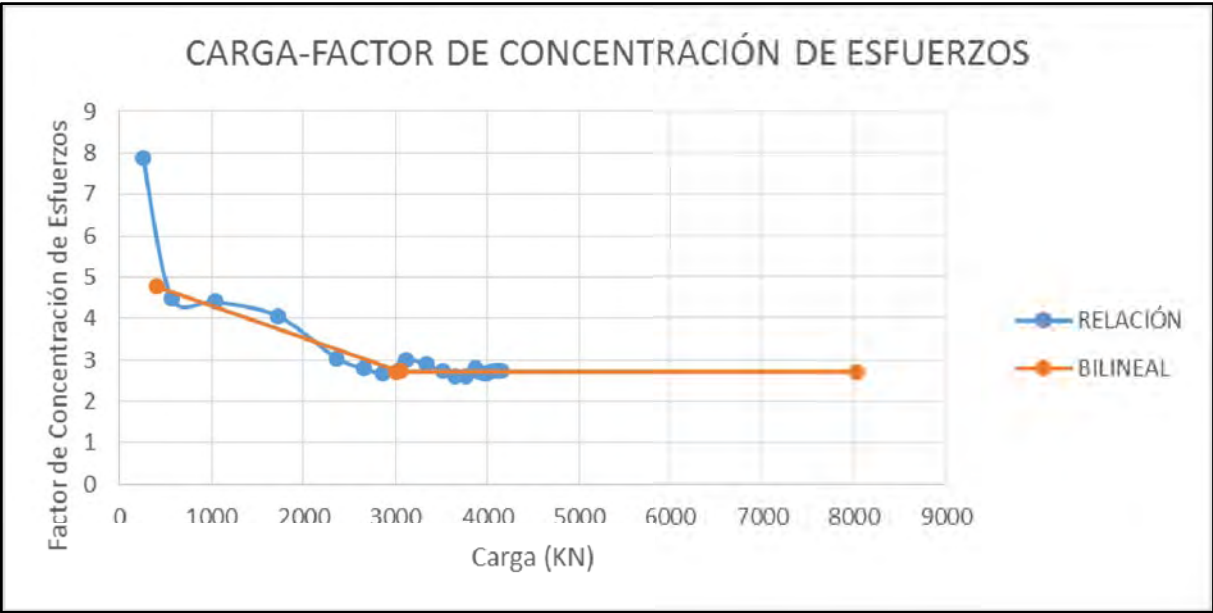


Figura B.11. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R3\_100

Tabla B.23. Resultados del modelo SK\_R3\_120

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0.000	0	0	0.00	0	
1	0.010	1.000	0.32	295.75	13.07	123.92	9.48
2	0.020	2.000	0.65	672.20	29.72	185.68	6.25
3	0.035	3.500	1.13	1258.80	55.65	335.63	6.03
4	0.058	5.750	1.84	2111.36	93.34	408.71	4.38
5	0.080	8.000	2.51	2900.08	128.21	446.85	3.49
6	0.103	10.250	2.97	3417.68	151.09	459.28	3.04
7	0.136	13.625	3.46	3819.44	168.86	475.18	2.81
8	0.170	17.000	3.89	4096.00	181.08	493.95	2.73
9	0.204	20.375	4.41	4334.40	191.62	551.24	2.88
10	0.238	23.750	5.02	4551.20	201.21	559.81	2.78
11	0.271	27.125	5.69	4728.00	209.02	625.86	2.99
12	0.322	32.188	6.85	4953.60	219.00	685.51	3.13
13	0.345	34.466	7.41	5045.60	223.06	570.43	2.56
14	0.367	36.744	8.00	5127.20	226.67	574.30	2.53
15	0.390	39.022	8.626	5204.8	230.10	579.883	2.52
16	0.413	41.300	9.287	5275.6	233.23	595.745	2.55
17	0.436	43.578	9.972	5344.4	236.27	605.314	2.56
18	0.459	45.856	10.7	5412	239.26	622.446	2.60
19	0.481	48.134	11.44	5472.8	241.95	644.2	2.66
20	0.504	50.412	12.214	5531.2	244.53	663.28	2.71
21	0.527	52.691	13.011	5587.6	247.03	680.134	2.75
22	0.550	54.969	13.844	5640.8	249.38	694.844	2.79
23	0.572	57.247	14.7	5692.4	251.66	708.001	2.81
24	0.595	59.525	15.579	5742	253.85	720.538	2.84
25	0.618	61.803	16.486	5790	255.97	732.084	2.86
26	0.641	64.081	17.415	5836.8	258.04	742.601	2.88
27	0.664	66.359	18.353	5882.4	260.06	752.962	2.90
28	0.686	68.637	19.298	5926.4	262.00	761.884	2.91
29	0.698	69.777	19.773	5948.4	262.98	766.362	2.91
30	0.709	70.916	20.25	5969.6	263.91	770.446	2.92
31	0.721	72.055	20.729	5991.2	264.87	774.594	2.92
32	0.732	73.194	21.208	6012.4	265.81	778.508	2.93
33	0.743	74.333	21.689	6033.2	266.73	782.286	2.93

Tabla B.24. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R3\_120

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	7.0466	-0.0011	<34%
Segunda	2.79	0.00	>34%

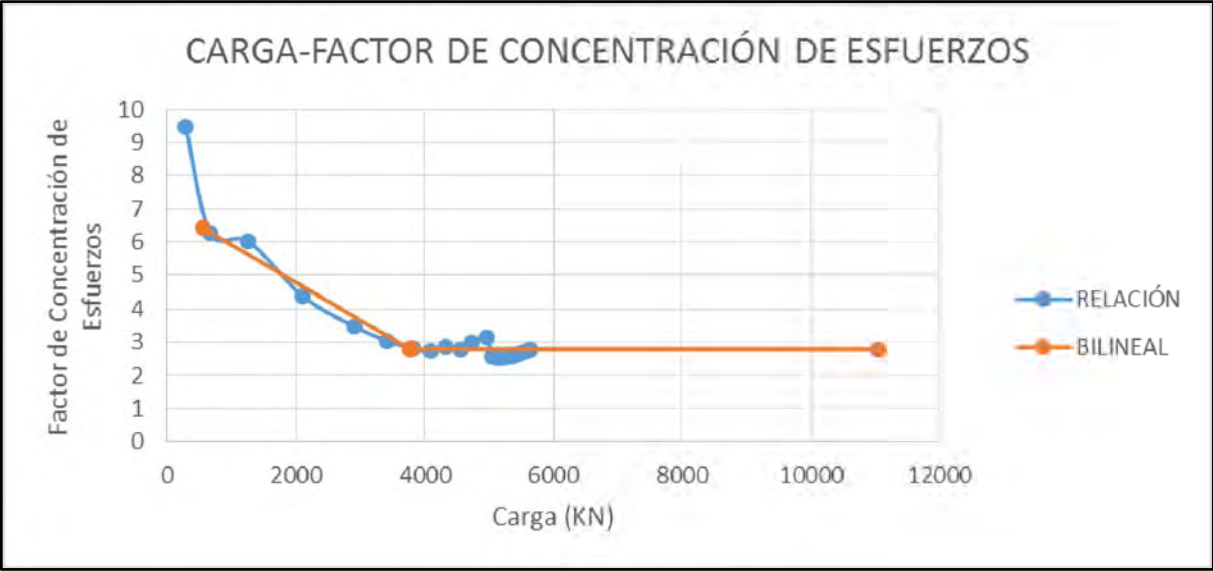


Figura B.12. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R3\_120

Tabla B.25. Resultados del modelo SK\_R4\_81

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0	
1	0.020	1.00	0.34	255.32	24.77	126.01	5.09
2	0.040	2.00	0.67	570.80	55.39	251.78	4.55
3	0.070	3.50	1.17	1076.08	104.41	469.30	4.49
4	0.100	5.00	1.66	1525.68	148.04	627.11	4.24
5	0.145	7.25	2.25	2117.64	205.48	642.03	3.12
6	0.190	9.50	2.64	2419.36	234.75	667.63	2.84
7	0.258	12.88	3.17	2672.56	259.32	689.63	2.66
8	0.359	17.94	4.19	2970.44	288.22	793.55	2.75
9	0.460	23.00	5.53	3222.24	312.66	859.29	2.75
10	0.561	28.06	7.31	3426.96	332.52	902.26	2.71
11	0.663	33.13	9.28	3585.68	347.92	985.43	2.83
12	0.814	40.72	12.43	3776.80	366.47	956.67	2.61
13	0.907	45.36	14.43	3883.80	376.85	971.82	2.58
14	1.000	50.00	16.45	3987.08	386.87	1008.64	2.61

Tabla B.26. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R4\_81

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	6.0666	-0.0013	<37%
Segunda	2.71	0.00	>37%

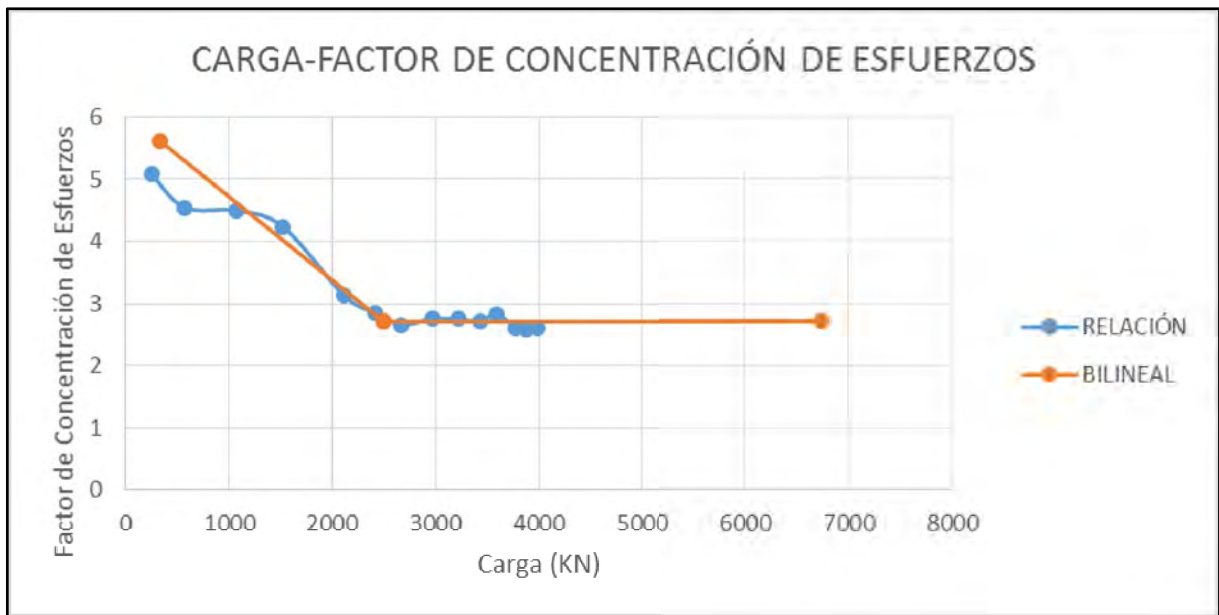


Figura B.13. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK-R4\_81

Tabla B.27. Resultados del modelo SK\_R4\_100

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0.00	
1	0.010	1.00	0.33	288.31	18.35	193.74	10.56
2	0.020	2.00	0.65	653.20	41.58	248.65	5.98
3	0.035	3.50	1.15	1260.68	80.26	361.21	4.50
4	0.050	5.00	1.63	1836.20	116.90	521.45	4.46
5	0.725	72.50	2.31	2654.96	169.02	628.54	3.72
6	0.950	95.00	2.73	3219.48	204.96	650.63	3.17
7	0.129	12.88	3.17	3692.12	235.05	666.94	2.84
8	0.163	16.25	3.61	3989.84	254.00	688.27	2.71
9	0.213	21.31	4.40	4345.20	276.62	780.40	2.82
10	0.264	26.38	5.45	4660.80	296.72	822.30	2.77
11	0.314	31.44	6.67	4916.00	312.96	825.19	2.64
12	0.390	39.03	8.73	5199.60	331.02	820.96	2.48
13	0.466	46.63	11.11	5442.00	346.45	935.95	2.70
14	0.542	54.22	13.63	5653.20	359.89	952.76	2.65
15	0.618	61.81	16.381	5836.4	371.56	993.48	2.67
16	0.694	69.41	19.266	6010	382.61	1015.21	2.65
17	0.751	75.10	21.49	6130.8	390.30	1032.41	2.65
18	0.794	79.37	23.191	6218.4	395.88	1038.61	2.62
19	0.836	83.65	24.918	6303.2	401.27	1048.83	2.61
20	0.879	87.92	26.668	6384.8	406.47	1059.70	2.61
21	0.911	91.12	28	6444.8	410.29	1072.00	2.61
22	0.935	93.52	29.003	6489.2	413.12	1082.24	2.62
23	0.953	95.32	29.757	6522.4	415.23	1089.61	2.62
24	0.971	97.13	30.515	6554.8	417.29	1096.72	2.63
25	0.989	98.93	31.274	6587.2	419.35	1103.67	2.63
26	1.000	100.00	31.727	6606	420.55	1107.81	2.63



Tabla B.28. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R4\_100

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	6.1205	-0.0009	<38%
Segunda	2.65	0.00	>38%

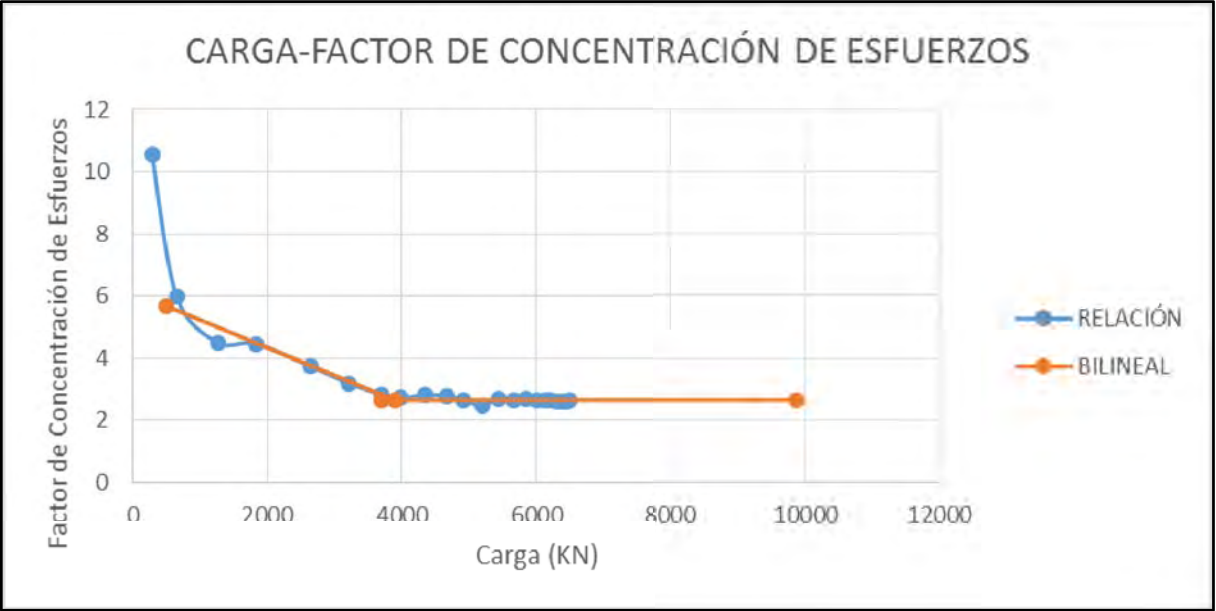


Figura B.14. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R4\_100

SK\_R4\_120

Tabla B.29. Resultados del modelo SK\_R4\_120

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0.000	0	0	0.00	0	
1	0.010	1.000	0.34	334.01	14.77	242.20	16.40
2	0.020	2.000	0.67	771.52	34.11	165.28	4.85
3	0.035	3.500	1.18	1487.60	65.77	297.16	4.52
4	0.058	5.750	1.93	2601.92	115.03	514.67	4.47
5	0.080	8.000	2.66	3642.00	161.01	624.46	3.88
6	0.114	11.375	3.46	4764.80	210.65	648.67	3.08
7	0.148	14.750	4.02	5376.80	237.71	670.27	2.82
8	0.181	18.125	4.52	5767.60	254.98	688.76	2.70
9	0.215	21.500	5.10	6103.60	269.84	734.97	2.72
10	0.249	24.875	5.78	6406.40	283.23	761.96	2.69
11	0.283	28.250	6.50	6655.20	294.22	839.22	2.85
12	0.333	33.313	7.73	6976.00	308.41	876.64	2.84
13	0.384	38.375	9.06	7242.40	320.18	812.92	2.54
14	0.434	43.438	10.52	7474.80	330.46	848.35	2.57
15	0.485	48.500	12.122	7685.6	339.78	879.021	2.59
16	0.536	53.563	13.841	7874	348.11	933.036	2.68
17	0.586	58.625	15.691	8044	355.62	975.182	2.74
18	0.612	61.156	16.658	8124.4	359.18	992.996	2.76
19	0.637	63.688	17.657	8202	362.61	1008.7	2.78
20	0.662	66.219	18.679	8277.2	365.93	1023.01	2.80
21	0.688	68.750	19.714	8349.6	369.13	1036.34	2.81
22	0.700	70.016	20.235	8385.2	370.71	1042.49	2.81
23	0.725	72.547	20.759	8420	372.25	1048.53	2.82
25	0.738	73.813	21.816	8488.8	375.29	1059.63	2.82
27	0.751	75.078	22.347	8522.4	376.77	1064.58	2.83
30	0.757	75.653	22.59	8537.6	377.44	1067.14	2.83

Tabla B.30. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R4\_120

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	5.3138	-0.0004	<43%
Segunda	2.75	0.00	>43%

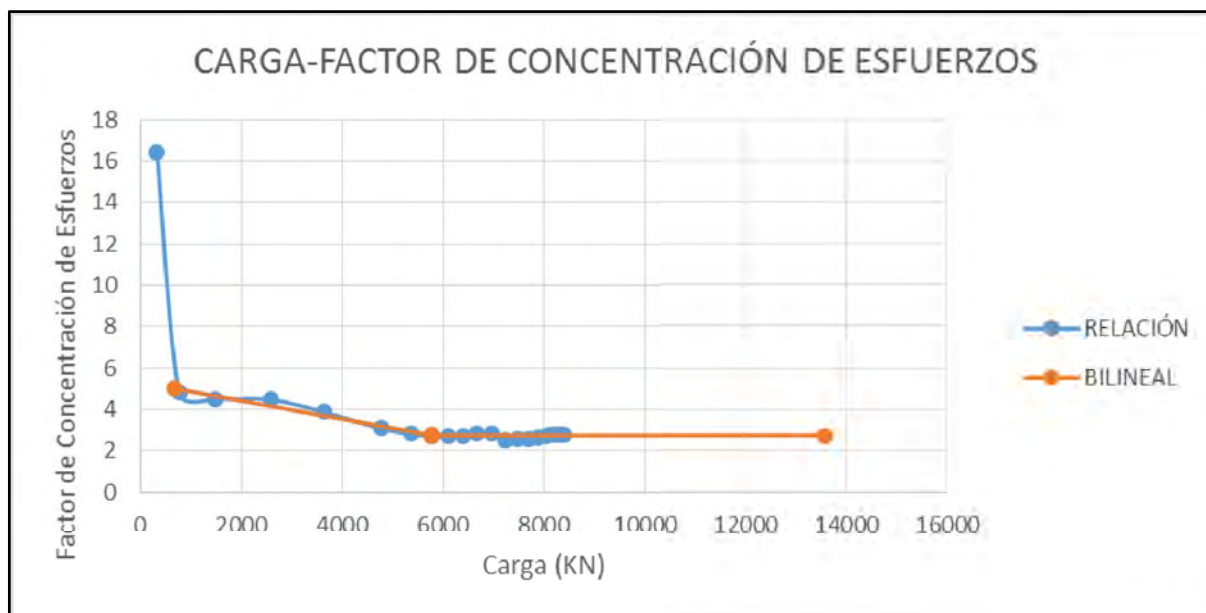


Figura B.15. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R4\_120

SK\_R5\_81

Tabla B.31. Resultados del modelo SK\_R5\_81

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0	
1	0.020	1.00	0.34	279.05	27.08	202.04	7.46
2	0.040	2.00	0.68	639.28	62.03	285.98	4.61
3	0.070	3.50	1.21	1201.40	116.57	530.11	4.55
4	0.115	5.75	1.97	1999.48	194.01	822.19	4.24
5	0.160	8.00	2.60	2716.48	263.58	838.87	3.18
6	0.205	10.25	2.96	3108.68	301.64	867.07	2.87
7	0.273	13.63	3.44	3408.40	330.72	895.65	2.71
8	0.374	18.69	4.35	3757.52	364.60	941.07	2.58
9	0.475	23.75	5.57	4049.20	392.90	1034.09	2.63
10	0.576	28.81	7.15	4294.80	416.73	1102.32	2.65
11	0.678	33.88	8.81	4469.60	433.69	1222.96	2.82
12	0.829	41.47	11.48	4679.60	454.07	1177.61	2.59
13	0.915	45.73	13.08	4786.80	464.47	1221.57	2.63
14	1.000	50.00	14.73	4886.40	474.13	1224.09	2.58

Tabla B.32. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R5\_81

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	5.8144	-0.0009	<43%
Segunda	2.65	0.00	>43%

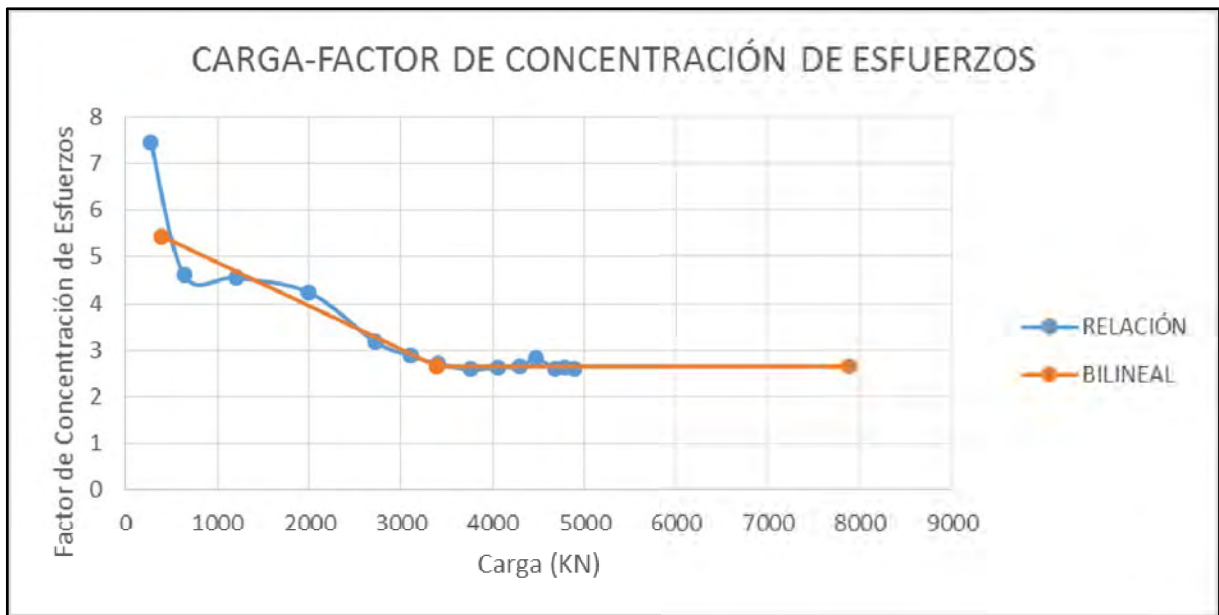


Figura B.16. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK-R5\_81

Tabla B.33. Resultados del modelo SK\_R5\_100

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0	
1	0.010	1.00	0.34	304.87	19.41	238.26	12.28
2	0.020	2.00	0.67	712.88	45.38	209.03	4.61
3	0.035	3.50	1.18	1392.08	88.62	403.01	4.55
4	0.058	5.75	1.93	2400.48	152.82	860.87	5.63
5	0.080	8.00	2.64	3368.64	214.45	823.58	3.84
6	0.114	11.38	3.27	4317.20	274.84	847.46	3.08
7	0.164	16.44	3.85	4998.00	318.18	881.82	2.77
8	0.215	21.50	4.54	5444.00	346.58	915.02	2.64
9	0.266	26.56	5.43	5819.60	370.49	943.08	2.55
10	0.316	31.63	6.44	6115.60	389.33	1024.02	2.63
11	0.367	36.69	7.46	6336.00	403.36	1052.03	2.61
12	0.392	39.22	8.03	6443.20	410.19	1054.18	2.57
13	0.418	41.75	8.61	6539.20	416.30	994.28	2.39
14	0.443	44.28	9.23	6629.20	422.03	991.41	2.35
15	0.468	46.81	9.872	6713.6	427.40	1063.15	2.49
16	0.493	49.34	10.519	6796.4	432.67	1107.94	2.56
17	0.519	51.88	11.178	6875.2	437.69	1115.42	2.55
18	0.544	54.41	11.875	6947.6	442.30	1140.7	2.58
19	0.569	56.94	12.599	7015.2	446.60	1177.87	2.64
20	0.588	58.84	13.173	7064.8	449.76	1205.05	2.68
21	0.607	60.73	13.748	7114	452.89	1225.55	2.71
23	0.645	64.53	14.955	7212	459.13	1255.18	2.73
26	0.689	68.92	16.397	7318.4	465.90	1286.29	2.76
28	0.711	71.06	17.124	7368	469.06	1300.19	2.77
30	0.732	73.19	17.867	7416	472.12	1312.9	2.78
33	0.761	76.13	18.907	7480	476.19	1326.84	2.79
38	0.795	79.53	20.14	7551.6	480.75	1340.02	2.79
45	0.837	83.74	21.706	7636.8	486.17	1358.22	2.79
49	0.861	86.14	22.619	7682	489.05	1367.99	2.80
54	0.891	89.14	23.761	7740.8	492.79	1382.62	2.81
61	0.933	93.35	25.396	7819.6	497.81	1400.58	2.81
67	0.965	96.502	26.628	7877.2	501.48	1413.46	2.82
72	0.988	98.755	27.521	7920.4	504.23	1422.48	2.82
75	1.000	100	28.001	7939.6	505.45	1427.21	2.82



Tabla B.34. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R5\_100

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	5.5357	-0.0005	<48%
Segunda	2.68	0.00	>48%

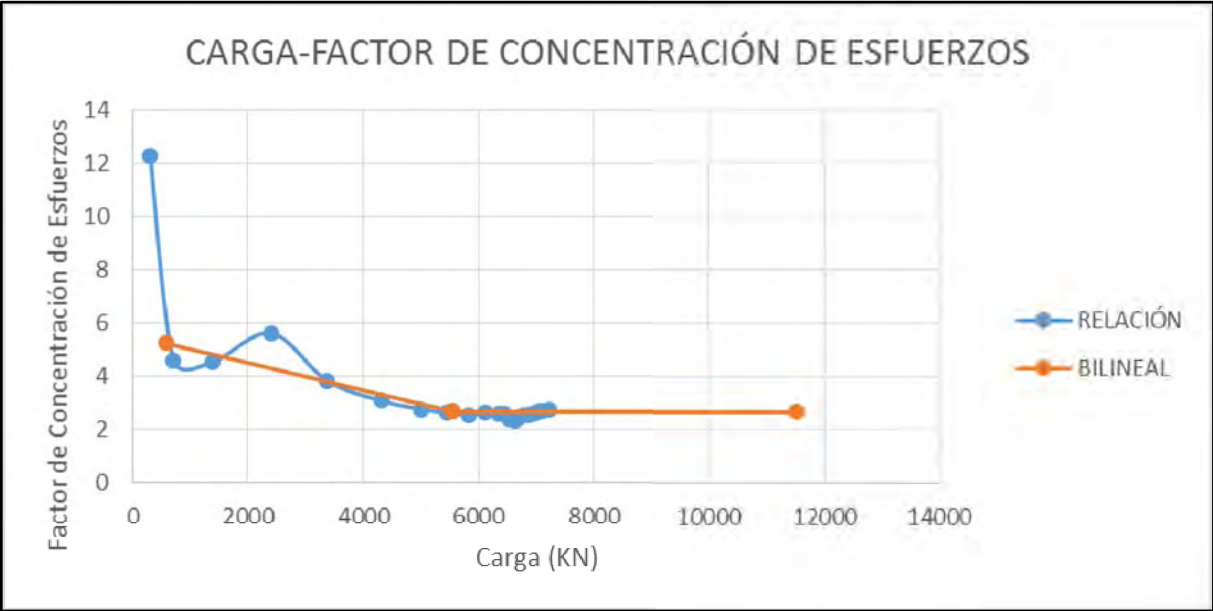


Figura B.17. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R5\_100

SK\_R5\_120

Tabla B.35. Resultados del modelo SK\_R5\_120

Paso	Tiempo	Desplazamiento (mm)		Carga (KN)	Esfuerzos (N/mm <sup>2</sup> )		FCE
		Total	Relativo		$\sigma_{nominal}$	$\sigma_{1st}$	
0	0.000	0	0	0	0.00	0	
1	0.010	1.00	0.35	357.68	15.81	287.34	18.17
2	0.020	2.00	0.69	855.32	37.81	244.82	6.47
3	0.035	3.50	1.22	1677.44	74.16	339.08	4.57
4	0.058	5.75	2.00	2952.72	130.54	594.05	4.55
5	0.080	8.00	2.77	4187.20	185.11	812.72	4.39
6	0.114	11.38	3.77	5767.60	254.98	842.79	3.31
7	0.148	14.75	4.32	6702.40	296.31	864.76	2.92
8	0.181	18.13	4.80	7234.80	319.85	887.11	2.77
9	0.207	20.66	5.16	7554.00	333.96	901.65	2.70
10	0.232	23.19	5.57	7841.20	346.66	915.22	2.64
11	0.270	26.98	6.25	8196.80	362.38	933.95	2.58
12	0.308	30.78	6.97	8496.00	375.61	998.08	2.66
13	0.346	34.58	7.73	8750.40	386.85	989.93	2.56
14	0.384	38.38	8.50	8971.20	396.61	972.87	2.45
15	0.422	42.17	9.334	9170	405.40	980.552	2.42
16	0.479	47.87	10.707	9436	417.16	1055.86	2.53
17	0.536	53.56	12.225	9675.6	427.76	1083.56	2.53
18	0.593	59.26	13.9	9889.2	437.20	1165.15	2.67
19	0.650	64.95	15.737	10081.6	445.70	1228.62	2.76
20	0.671	67.09	16.462	10150.4	448.75	1248.89	2.78
21	0.682	68.16	16.829	10184	450.23	1258.51	2.80

Tabla B.36. Valores de constantes para la curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R5\_120

Sección	$a_0$	$a_1$	Carga ruptura
Primera	6.1721	-0.0005	<46%
Segunda	2.62	0.00	>46%

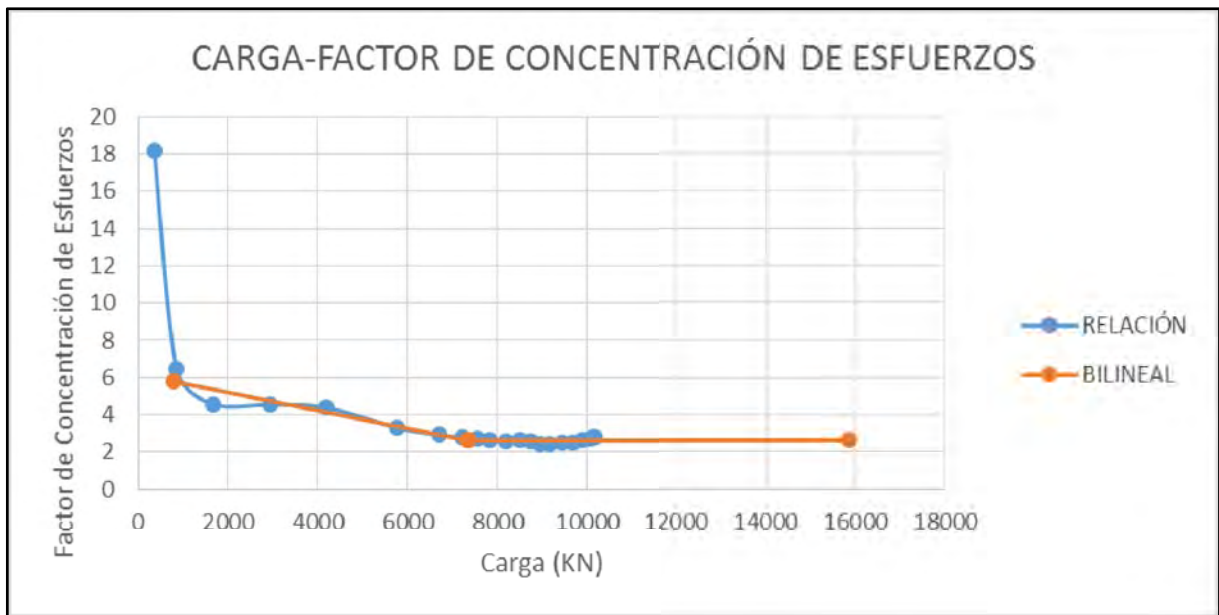


Figura B.18. Curva Carga-Primer Esfuerzo Principal, modelo SK\_R5\_120